

Arbeiten des Botanischen instituts in Würzburg

Julius Sachs



ARBEITEN

DES

BOTANISCHEN INSTITUTS

IN

WÜRZBURG

HERAUSGEGEBEN VON

PROF. DR. JULIUS SACHS.



Heft I.

Dr. W. Pfeffer: Die Wirkung farbigen Lichtes auf die Zersetzung der Kohlensäure in Pflanzen. Mit 3 Figuren in Holzschnitt.

Dr. W. Pfeffer: Studien über Symmetrie und specifische Wachsthumsursachen. Mit 1 Figur in Holzschnitt.

LEIPZIG,

VERLAG VON WILHELM ENGELMANN.

1871.

ARBEITEN

DES

BOTANISCHEN INSTITUTS

IN

WÜRZBURG.

HERAUSGEGEBEN VON

PROF. DR. JULIUS SACHS.

ERSTER BAND.

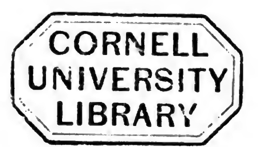
ENTHALTEND ABHANDLUNGEN AUS DEN JAHREN 1871 BIS 1874.

MIT 54 HOLZSCHNITTEN UND 8 LITHOGR. TAFELN.

LEIPZIG,

VERLAG VON WILHELM ENGELMANN.

1874.


CORNELL
UNIVERSITY
LIBRARY

Inhaltsverzeichniss.

1. Heft. 1871.

2. Heft. 1872.

3. Heft. 1873.

4. Heft. 1874.

ARBEITEN

DES

BOTANISCHEN INSTITUTS

IN

WÜRZBURG

HERAUSGEGEBEN VON

PROF. DR. JULIUS SACHS.

Heft 1.

Dr. W. Pfeffer: Die Wirkung farbigen Lichtes auf die Zersetzung der Kohlensäure in Pflanzen. Mit 3 Figuren in Holzschnitt.

Dr. W. Pfeffer: Studien über Symmetrie und specifische Wachsthumsursachen. Mit 1 Figur in Holzschnitt.

LEIPZIG,

VERLAG VON WILHELM ENGELMANN.

1871.

Druck von Breitkopf und Härtel in Leipzig.

I.

Die Wirkung farbigen Lichtes auf die Zersetzung der Kohlensäure in Pflanzen.

Von

Dr. W. Pfeffer.

Literatur.

Wenngleich die Literatur über die Assimilation in farbigem Lichte bereits von SACHS [1]) zusammengestellt wurde, so dürfte doch eine nochmalige kritische Behandlung gerechtfertigt sein. Denn die zweifellos wichtigste unter allen älteren Arbeiten, die von DRAPER, war für SACHS nicht zugänglich und ferner sind seit dessen Bearbeitung des Gegenstandes einige weitere Publicationen erschienen. Es bedarf wohl kaum noch der besonderen Bemerkung, dass ich die ziemlich zahlreichen neueren Arbeiten über Gasabscheidung und Assimilation nur insofern berücksichtige, als sie die Wirkung von Lichtstrahlen verschiedener Brechbarkeit behandeln.

DAUBENY [2]), dem jedenfalls das Verdienst zukommt, die ersten umfassenden Untersuchungen über die Wirkung farbigen Lichtes auf Gasabscheidung gemacht zu haben, liess die Strahlen einwirken, welche durch farbige Gläser oder mit Flüssigkeiten gefüllte Flaschen passirten. Neben farblosem kamen grünes, purpurfarbiges, blaues, rothes und orangegefärbtes Glas zur Anwendung, von welchen indess nur die beiden letzteren reinere und zu Untersuchungen brauchbare Spektra gaben. Das rothe Glas liess die rothen, orangen, gelben und einen Theil der grünen, das orangegefärbte Glas ausserdem noch einen Theil der blauen Strahlen hindurchgehen. Von den beiden angewandten Flüssigkeiten war die eine das bekannte Kupferoxydammoniak in ziemlich concentrirter Lösung, die andere Portwein, welcher nur rothes Licht durchlassen soll. Ausser der spektroskopischen Untersuchung der angewandten Medien wurde die Wirkung der durchgehenden Strahlen auf

---

1) Bot. Zeitung 1864, p. 354 ff.

2) Philosoph. transact. 1836, p. I, p. 149 ff.

Silberpapier, ferner deren erwärmende Kraft und relative Helligkeit festzustellen gesucht.

Glasscheiben, oder mit Flüssigkeit gefüllte flachwandige Flaschen wurden vor einer Oeffnung irdner Gefässe (jars) angebracht, in welche die zu untersuchenden Pflanzentheile in mit Kohlensäure gesättigtes Wasser gebracht waren. Wenn Daubeny auch bemüht war, durch Auswahl gleicher und gleichgrosser Pflanzentheile untereinander vergleichbare Resultate zu erzielen, so ist doch zu bedauern, dass er, mit Ausnahme von Fucus digitatus, nur mit Landpflanzen, fünf verschiedenen Arten operirte. Wie weit die Genauigkeit der volummetrischen Bestimmung der Gase reicht, lässt sich bei der sehr unvollständigen Beschreibung von Apparaten und Methode nicht sagen, die Art der Sauerstoffbestimmung ist aber jedenfalls ziemlich ungenau, da die nach Absorption dieses Gases durch Phosphor dem Gasrückstand beigemischte phosphorige Säure in fehlerhafter Weise verrechnet wurde. Ferner scheint die den in kohlensäurereichem Wasser von Pflanzen ausgeschiedenen Gasen immer, aber in variabler Menge beigemengte Kohlensäure gar nicht beachtet zu sein, wenigstens ist nie davon die Rede, und dann musste bei der angewandten analytischen Methode die Stickstoffmenge um deren Volumen zu hoch gefunden werden.

Hinter Portwein sammelte sich gar kein Gas, was indess wohl seinen Grund allein in einer zur erheblichen Schwächung des durchgehenden rothen Lichtes haben dürfte; hinter allen anderen Medien wurde Gas entbunden. Daubeny's Schluss, dass es besonders die leuchtenden Strahlen sind, welche die Gasabscheidung veranlassen, ist zwar richtig, doch ist die Amplitude der Extreme von den Mittelzahlen, welche man ziehen könnte, eine so grosse dass auf diese kein Werth gelegt werden kann. Nicht minder variabel ist die quantitative Zusammensetzung der angesammelten Gase, welche in keinem Falle reiner Sauerstoff, sondern immer mit Stickstoff gemischt waren, ja in einigen Fällen soll das angesammelte Gas reiner Stickstoff gewesen sein. Da in anderen Fällen aber wieder sehr sauerstoffreiche Gasgemenge bei Anwendung gleicher farbiger Medien gefunden wurden, so ruht auch ein anderer von Daubeny gezogener Schluss auf sehr schwachen Füssen, nämlich, dass das gesammelte Gas im allgemeinen um so reicher an Sauerstoff war, je mehr Gas überhaupt ausgeschieden wurde.

An Draper's [1] umsichtiger Arbeit ist nur zu bedauern, dass die Resultate zu summarisch mitgetheilt werden und besonders auch in den gasometrischen Theil ein gar zu beschränkter Einblick gestattet ist.

Draper brachte in verschiedene Zonen eines mittelst Heliostaten und Krystallprisma entworfenen Spektrums Gasröhren von 15 Mm. Durchmesser und 18 Mm. Höhe, welche mit kohlensäuregesättigtem Wasser gefüllt waren, in welches Pflanzenblätter oder Pflanzentheile, wie es scheint leider auch

1) Annal. d. Chim. et de Physique 1844, p. 214 ff.

immer von Landpflanzen, gebracht wurden. Sieben solcher Versuchsröhren wurden gleichzeitig nebeneinander in einer Wasserwanne aufgestellt und den aus der unten mitgetheilten Tabelle zu entnehmenden Zonen des Spektrums exponirt. Unter dem Einfluss der orangen und der vereinten gelben und grünen Strahlen begann sofort nach der Exposition die Gasentbindung und bereits nach anderthalb Stunden waren Mengen angesammelt, welche eine genaue Messung gestatteten, die nach Ueberfüllen der Gase in Messröhren ausgeführt wurde. Diejenigen Versuchsröhren, welche unter dem Einfluss bestimmter Spektralfarben kein Gas ausgeschieden hatten, wurden nach Beendigung des Versuches jedesmal der Sonne exponirt, um die Fähigkeit der eingeschlossenen Pflanzen Gas überhaupt entbinden zu können zu constatiren. Da Draper's Arbeit nur sehr wenig bekannt zu sein scheint, so gebe ich hier die Resultate der beiden angestellten Versuche.[1]

Expérience Nr. I.		Expérience Nr. II.	
Nom du rayon.	Volumen de gaz.	Nom de rayon.	Volumen de gaz.
Rouge intense	0,33	Rouge intense	0
Rouge et orange	20,00	Rouge et orange	24,75
Jaune et vert	36,00	Jaune et vert	43,75
Vert et bleu	0,10	Vert et bleu	4,10
Bleu	0	Bleu	1,00
Indigo	0	Indigo	0
Violet	0	Violet	0

Ferner stellte Draper auch Versuche mit durch farbige Flüssigkeiten gehenden Lichtstrahlen an und zwar mit Lösungen von doppelt chromsaurem Kali und Kupferoxydammoniak, deren Spektrum bei der angewandten Dicke der Schicht leider nicht weiter angegeben wird. Die Flüssigkeiten wurden in parallelwandige, in Holzkästen eingesetzte Flaschen gefüllt, ein jedesmal zum Vergleich im weissen Licht angestellter Versuch aber ganz frei an der Sonne vorgenommen. Dreimal unter den fünf angestellten Versuchen fand Draper mehr Gas hinter dem chromsauren Kali, als am weissen Licht ausgeschieden, glaubt indess, dass nur die stärkere Erwärmung in dem Holzkasten dieses Ergebniss herbeiführte. In den allein mitgetheilten Mittelwerthen stellt sich indess das im weissen Licht gesammelte Gas etwas höher heraus, als das im gelben Licht ausgegebene; jenes ist mit 4,75, dieses mit 4,55 (wahrscheinlich C. C.) verzeichnet, während für Kupferoxydammoniak nur 0,75 (C. C.?) Gas aufgeführt werden.

1) L. c. p. 217. — Die Maasseinheit, nach welcher die Gase gemessen wurden, ist nicht angegeben, vielleicht sind Cubikmillimeter, keinenfalls wenigstens Cubikcentimeter gemeint.

Draper schliesst aus seinen Resultaten [1], dass das Maximum der Kohlensäurezersetzung mit dem Maximum der Helligkeit im Spektrum zusammenfällt und dass die stärker brechbaren Strahlen gar keine Assimilation hervorzurufen vermögen. Hinter dem chromsauren Kali würde nach unseres Autors Vermuthung ebensoviel Gas, wie am gemischten Lichte gefunden worden sein, wenn nicht auch eine geringe Menge der durchgehenden Strahlen durch Absorption und Reflexion verloren ginge.

Weiter bemerkt Draper sehr richtig, dass die Gasausscheidung nicht von der erwärmenden Kraft der Strahlen des Spektrums abhängig ist, da schon im äussersten Roth sich nur wenig oder gar kein Gas ansammelte, das Wärmemaximum aber noch weiter, in den nicht mehr sichtbaren Theil des Spektrums fällt. Zum weiteren Belege, dass dunkle Wärmestrahlen die Zersetzung der Kohlensäure nicht mehr zu bewirken vermögen, wurde hinter einem Holzfeuer ein Metallspiegel aufgestellt und in dessen Focus eine mit kohlensäurehaltigem Wasser und Blättern beschickte Versuchsröhre gebracht. [2] Zwar fand so eine Ansammlung von Gas statt, allein dieses war, wie die Analyse ergab, reine Kohlensäure, welche durch die Erwärmung des Wassers ausgetrieben wurde.

Das Volumen der bei den Experimenten angesammelten Gase ist immer erst nach Absorption der Kohlensäure gemessen, denn sagt Draper: [3] »Les proportions — der Kohlensäure — doivent être variables, car elles dépendent du total d'acide carbonique qui reste dans l'eau, de la promptitude avec laquelle l'expérience a été conduite et de quelques autres conditions qui peuvent varier.« Auch auf die unvermeidlichen Fehlerquellen, herbeigeführt durch Absorptions- und Diffusionsverhältnisse, welchen ein unter Wasser ausgeschiedenes und über demselben sich ansammlendes, zum grössten Theil aus Sauerstoff und Stickstoff bestehendes Gasgemenge unterworfen ist, wird kurz hingewiesen. Eine specielle Entdeckung dieser Verhältnisse für in Wasser Gas ausscheidende Pflanzen hielt also Draper schon vor 26 Jahren nicht für nothwendig, da er damals schon die Kenntniss der einschlägigen Gesetze seitens competenter Leser voraussetzen durfte.

In einer grösseren Zahl von Analysen fand unser Autor das Verhältniss von Stickstoff und Sauerstoff ziemlich variabel, bemerkte aber darin keinen auffallenden Unterschied, wenn er unter dem Einfluss verschiedener Spektralfarben ausgeschiedene Gasgemenge verglich. [4]

---

1) L. c., p. 219.

2) L. c., p. 222.

3) L. c., p. 221.

4) Bei der Vergessenheit, in welche Draper's Arbeit gerieth, erlaube ich mir auch auf den zweiten Abschnitt (l. c., p. 223 ff.) hinzuweisen, in welchem mit aller Präcision der Unterschied von Assimilation und Athmung auseinandergesetzt wird. Was hier ausserdem über die Zersetzung der an Alkalien gebundenen Kohlensäure gesagt wird, ist durch keine,

Hunt kommt zwar auch zu dem Schluss, dass die leuchtenden Strahlen des Spektrums zur Zersetzung der Kohlensäure durch Pflanzen wesentlich sind, Fragestellung und Darstellung sind aber in so hohem Maasse unklar, dass man diese Arbeit auf sich beruhen lassen kann.[1]

Auch die Untersuchungen von Cloez und Gratiolet[2] bleiben weit hinter Draper's Arbeit zurück, ja die gänzliche Unterlassung einer spektroskopischen Prüfung der verwendeten gefärbten Gläser erlaubt keinen bestimmten Schluss über die Wirkung von Strahlen bestimmter Brechbarkeit auf die Gasabscheidung. Aus den farbigen Glasscheiben, welche als farbloses, mattgeschliffenes, hellgelbes, rothes (mit Kupferoxydul gefärbtes), grünes und blaues Glas bezeichnet sind, wurden Käfige zusammengesetzt und diese über etwa 2 Liter fassende Flaschen gestülpt, in welchen die Versuchspflanzen in kohlensäurereichem Wasser lagen. Sämmtliche Käfige wurden gleichzeitig in Thätigkeit gesetzt und nach drei- bis vierstündiger Exposition das in den luftdicht verschlossenen Flaschen angesammelte Gas in Messröhren gepresst, in welchen sich über dem Wasser eine Oelschicht befand.

Die Anwendung von Wasserpflanzen, Potamogeton perfoliatum, ist ein Fortschritt in dieser Arbeit, deren gasanalytischer Theil wieder recht mangelhaft ist. Die Anwendung von Oel als Sperrflüssigkeit bietet keinen Vortheil, da dessen Absorptionscoefficienten für Gase noch höher als bei Wasser sind und die Absorption der Kohlensäure mittelst Kali war der unvermeidlichen Verseifung des Oeles halber gewiss keine reinliche Operation. Die dann folgende Sauerstoffbestimmung durch Kupfer, welches mit von Salzsäure durchtränktem Asbest umgeben war, vermag kein Zutrauen in die erhaltenen Resultate zu erwecken, wie auch die Aufeinanderfolge von Kali und Salzsäure ernstliche Bedenken erregen kann.

Auf Seite 51 sind die Resultate von drei, jedesmal gleichzeitig mit allen Glaskäfigen angestellten Versuchen tabellarisch zusammengestellt. Temperatur des Versuchwassers, die ausgeschiedene Gasmenge in Cub. C., die procentische Zusammensetzung des Gasgemenges aus Sauerstoff, Stickstoff und Kohlensäure und endlich das procentische Verhältniss von Stickstoff und Sauerstoff allein sind in den einzelnen Vertikalreihen aufgeführt.

Das Verhältniss der für die verschiedenem Gläser gewonnenen Gasmengen ist in jedem der drei Versuche ein sehr gut übereinstimmendes; hinter weissem Glase sammelte sich die grösste Menge Gas, dann folgen gelbes,

---

auch nur entfernt entscheidende Experimente belegt, und die bezüglichen Schlüsse sind wohl gewiss zum grössten Theil, wenn nicht alle, irrig.

1) Uebers. aus »Report of the 17. meeting of the british assoc. for the advancement of science, held at Oxford June 1847« in Bot. Ztg. 1851, p. 341 ff. — Vergl. die Kritik von Sachs in Bot. Ztg. 1864, p. 354.

2) Annal. d. Chim. et de Physique, 3. sér. T. 32, 1851, p. 41 ff.

mattgeschliffenes, rothes, grünes und endlich blaues Glas, hinter welchem nur ein Drittel bis ein Viertel soviel Gas wie hinter weissem Glase ausgeschieden wurde. Den Farben der Gläser nach zu urtheilen haben also auch hier die minder brechbaren Strahlen am meisten geleistet.

Auch die Zusammensetzung der gesammelten Gase ist für gleichgefärbte Gläser auffallend übereinstimmend angegeben, namentlich wenn man die mehr variabelen Kohlensäuremengen ausser Acht lässt und in der letzten Columne das procentische Verhältniss von Sauerstoff und Stickstoff betrachtet. Ein Vergleich der mit gleichgefärbten Gläsern in den drei Versuchen erhaltenen Resultaten zeigt für eines der Gase keine Differenz von 5 Procent. Dabei sinkt der Sauerstoffgehalt ganz constant, je geringer die Mengen des ausgeschiedenen Gases wird; für das weisse Licht ergeben sich zum Beispiel im Mittel 76,8% Sauerstoff auf 23,2 Procent Stickstoff, für blaues Glas aber nur 44,6 Procent Sauerstoff.

Während bei allen früheren Arbeiten die Gase gemessen und meist auch einer Analyse unterworfen wurden, finden wir die Geschwindigkeit der Gasabscheidung zum Princip einer neuen, von Sachs[1]) angewandten Methode erhoben. Es wurde hier die Wirkung des weissen Lichtes auf die Gasabscheidung im Vergleich zu farbigem Lichte in der Zahl der Blasen bemessen, welche in Zeiteinheiten sich entwickelten, oder umgekehrt, die zur Entwicklung einer gewissen Blasenzahl nöthige Zeit bestimmt. Die vergleichenden Zählungen wurden an einigen Wasserpflanzen vorgenommen, bei welchen aus einem angebrachten Stammquerschnitt ein Blasenstrom hervortrat. Die hierbei angewandten Apparate habe ich nicht nöthig zu beschreiben, da diese auch im Handbuch der Experimentalphysiologie von Sachs (p. 25) nachgesehen werden können.

Als Hauptaufgabe hatte sich Sachs gestellt, den Einfluss der Strahlen geringerer und stärkerer Brechbarkeit, der sogenannten chemischen Strahlen, auf die Gasabscheidung kennen zu lernen und hier waren die angewandten Lösungen von doppelt chromsaurem Kali und Kupferoxydammoniak vortrefflich geeignet, da sie sich gerade so herstellen lassen, dass das Spektrum in zwei Theile getrennt wird. Als Resultat ergab sich: »Das gemischte orange Licht, dessen Einfluss auf das photographische Papier während der Beobachtungszeit unmerklich war, leistete bei der Gasabscheidung fast eben so viel wie das weisse Licht, während dagegen das blaue trotz der energischen Bräunung des photographischen Papiers nur unbedeutend auf die Pflanze einwirkte.«[2])

Aufsammeln und Analysiren der ausgeschiedenen Gase unterliess Sachs besonders desshalb, weil »sich in diesem Falle die Absorptionsverhältnisse der verschiedenen Gase (der Kohlensäure, des Sauerstoffs und des Stick-

1) Bot. Ztg. 1864, p. 363.
2) L. c., p. 374.

stoffs) in einer schwer zu beseitigenden Art bemerklich machen.«[1]) Dem gegenüber bietet gerade die Methode des Blasenzählens den entschiedenen Vortheil, dass sie innerhalb weniger Minuten vergleichende Beobachtungen gestattet und die aus Beleuchtungsänderungen und Temperaturschwankungen entspringenden Fehler bei abwechselnd wiederholten Beobachtungen hinter weissem und farbigem Licht gänzlich eliminirt werden können.

Sachs wollte nur die Gasabscheidung in ihrer Abhängigkeit von verschiedenen Lichtfarben kennen lernen. Die Methode würde aber auch die relativen Mengen der zersetzten Kohlensäure anzugeben erlauben, vorausgesetzt, dass das aus derselben Wunde hervortretende Gas innerhalb kurzer Zeit seine Zusammensetzung nicht ändert, wenn der Blasenstrom beschleunigt oder verlangsamt wird. Die vorliegenden und nicht einmal widerspruchsfreien Angaben über das Sinken des Sauerstoffgehaltes bei verlangsamter Gasausscheidung können hier nicht entscheiden, da immer nur Gase analysirt wurden, welche während einiger Stunden sich ansammelten, für das Blasenzählen es aber allein auf einige Minuten ankommt. Doch machen es später mitzutheilende Beobachtungen mehr als wahrscheinlich, dass, wie es auch aus theoretischen Gründen zu erwarten ist, der Sauerstoffgehalt der Blasen sofort sinkt, wenn die Zeit zwischen ihrer Aufeinanderfolge wächst. Selbstverständlich ist es für das Blasenzählen ganz gleichgültig, welche Veränderungen mit der Blase während des Aufsteigens im Wasser vor sich geht, und ebenso ob die Zusammensetzung eines in verhältnissmässig geringer Menge über Wasser sich ansammelnden Gasgemisches nach bekannten Absorptionsgesetzen verändert wird. Dessenungeachtet sucht Müller[2]) in einer umfassenden Arbeit die Sachs'sche Methode als ungenau hinzustellen, weil eine aufsteigende Blase durch Diffusion gegen die im Wasser gelösten Gase ihre Zusammensetzung ändert und nach Absorptionsgesetzen ein Gleichgewichtszustand zwischen dem über Wasser angesammelten und dem in diesem gelösten Gasgemenge angestrebt wird. Diese Einwände treffen natürlich die Methode des Blasenzählens gar nicht, ja wesentlich der Diffusions- und Absorptionsverhältnisse halber hat Sachs das Zählen der Blasen dem Messen und Analysiren vorgezogen.

»Dass in vielen Fällen die Blasen, welche nach der Sachs'schen Methode abgezählt werden, aus reiner Kohlensäure bestehen. Vorausgesetzt, dass diese Methoden streng befolgt wurden so wie sie von Sachs angegeben sind«, wie Müller[3]) behauptet, ist jedenfalls unmöglich so lange eine Pflanze überhaupt Kohlensäure zersetzt. Wie es kommt, dass die aufgesammelten Gase bei Müller so sehr reich an Kohlensäure ausfielen, mindestens 26 Procent von diesem Gase enthielten, weiss ich nicht, denn Müller befindet sich

1) L. c., p. 364.
2) Jahrb. f. wissenschaftl. Bot. VI, p. 478 ff.
3) L. c., p. 484.

sich mit allen bisherigen Forschern, wie mit Draper, Cloez und Gratiolet, Unger, Knop, Wolkoff im Widerspruch, welche Kohlensäure immer in viel geringerer Menge fanden.

Das Gasblasenzählen im farbigen Licht wurde gelegentlich auch von A. Mayer[1]) und A. v. Wolkoff[2]) angewandt. Letzterer zeigte auch in der citirten Arbeit, dass die oft sehr erheblichen Schwankungen in der chemischen Intensität des Tageslichtes ohne Einfluss auf den Process der Gasabscheidung sind, ein Resultat, welches übrigens nach den Untersuchungen von Draper und Sachs bestimmt zu erwarten war.

Cailletet[3]) ist der Erste, welcher die Zersetzung von Kohlensäure im farbigen Licht nicht an in Wasser liegenden, sondern in kohlensäurereicher Luft befindlichen Pflanzentheilen untersuchte. Von dem gasometrischen Theil dieser Arbeit erfahren wir nur, dass die Blätter in Luft gebracht wurden, welcher bei verschiedenen Versuchen 18,21 oder 30 Procent Kohlensäure beigemengt waren und dass die Versuche in Eprouvetten ausgeführt wurden (mit Quecksilber oder Wasser gesperrt?). Diese wurden unter Glasglocken gestellt und zwar kam bei jedem vergleichenden Versuche eine Glocke aus farblosem, aus gelbem, aus rothem, aus blauem, aus violetem und aus grünem Glase zur Anwendung und ausserdem noch eine doppelwandige Eprouvette, deren Zwischenraum mit einer Lösung von Jod in Schwefelkohlenstoff angefüllt war. Leider ist die Farbe des Glases das Ganze was wir erfahren, von einer spektroskopischen Prüfung ist nirgends die Rede, während die Wirkung des durchgehenden Lichtes auf photographisches Papier untersucht wurde.

Die Kohlensäuremengen welche nach acht bis zehnstündiger Exposition der Blätter in mit 18,21 oder 30 Procent Kohlensäure gemengter Luft wiedergefunden wurden, finden sich auf einem beigegebenen Täfelchen in zwei Vertikalreihen zusammengestellt (p. 324). Dabei ist aber nicht gesagt ob jede einzelne Columne nur einen vergleichenden Versuch darstellt oder das Mittel von mehreren ist.

Da die verschiedenen Glocken nicht spektroskopisch geprüft wurden, so haben die mitgetheilten Zahlen gar keinen Werth, die Angabe aber, dass im grünen Lichte Kohlensäure gebildet werde, ist entschieden falsch. Wenn hinter der von Cailletet angewandten grünen Glocke wirklich Kohlensäure gebildet wurde, so dürfte jene so viele Strahlen ausgelöscht haben, dass sich die Pflanze faktisch im Dunkeln befand. Grüne Glassorten, die so gut wie undurchsichtig sind, kommen in der That im Handel vor; kein grünes

---

1) Die landwirthschftl. Versuchsstationen Bd. IX. Ich kenne die Arbeit nur aus dem Referat in den Jahrb. über d. Fortschritte d. Agrikulturchemie für das Jahr 1867 von R. Hoffmann, p. 143.

2) Jahrb. f. wiss. Bot. Bd. V, p. 1 ff.

3) Compt. rendus 1867, Tom. 65, p. 322.

Glas ist mir aber bekannt, welches überhaupt monochromatisches grünes Licht durchlässt. Die weitere beiläufige Mittheilung, dass auch in dem durch Lösungen erhaltenen grünen Licht Kohlensäure gebildet werde, entzieht sich einer Kritik, bis der Autor seine angewandten grünen Lösungen bekannt gibt, mir ist es wenigstens nicht gelungen eine Lösung aufzutreiben, die allein grünes Licht hindurchlässt.

Bei den Experimenten mit in Schwefelkohlenstoff gelöstem Jod fand CAILLETET die Kohlensäuremenge vor und nach Exposition ganz gleich gross. Ob wirklich so viel Jod aufgelöst war, dass gar keine sichtbaren Strahlen mehr durchdrangen, sagt CAILLETET nicht, jedenfalls beweisen aber seine Zahlen nicht, was sie beweisen sollen, dass nämlich in den dunklen Wärmestrahlen Kohlensäurezersetzung nicht mehr stattfindet. Denn dann hätte Kohlensäure gebildet werden müssen, so aber musste zufällig gerade so viel Kohlensäure zerlegt werden, dass Assimilation und Athmung sich das Gleichgewicht hielten.

Die letzte einschlägige Arbeit ist eine vorläufige Mittheilung von TIMIRJASEFF.[1]) Ueber die angewandte Untersuchungsmethode wird hier nur gesagt, dass die von BOUSSINGAULT verwerthete adoptirt wurde, welche wesentlich dieselbe ist, die auch ich benutzte und mit der sich in jeder Hinsicht befriedigende Resultate erhalten lassen. Jedenfalls muss aber das angewandte Blatt nach der Exposition entfernt werden; geschieht dieses nicht und wird die Absorption der Kohlensäure ohne weiteres vorgenommen, dann ist eine erhebliche Fehlerquelle gegeben. Entweder zersetzt das Blatt Kohlensäure, so lange noch nicht die letzte Spur dieses Gases vom Kali weggenommen ist, oder wenn die Beleuchtung des Ortes, an welchem die Analyse ausgeführt wird, hierzu nicht ausreicht, wird fortwährend Kohlensäure gebildet. Bei der Kürze der Mittheilung würde das Schweigen über diesen Punkt begreiflich sein, allein nach der beigegebenen Abbildung (Taf. III) möchte man vermuthen, dass das Blatt auch während der Ausführung der Analyse im Versuchsrohr blieb. Da bekannte Quantitäten Kohlensäure in jedes Versuchsrohr gebracht waren, so gibt die Differenz mit der nach der Exposition vorhandenen Menge dieses Gases die zersetzte Kohlensäure an.

Um die obere Partie des Versuchsrohres wurde ein Glascylinder mittelst eines von Paraffin durchtränkten Korkes befestigt und der Zwischenraum mit den farbigen Flüssigkeiten angefüllt, deren Spektra für eine gleiche Dicke der Schicht an direkter Sonne festgestellt waren. Als farbige Medien wurden angewandt: 1) eine ammoniakalische Lösung von Carmin, die rothen und einen Theil der orangen Strahlen durchlassend; 2) mässig concentrirte Chlorkupferlösung, durch welche die orangen Strahlen zum Theil, ferner die

---

1) Bot. Ztg. 1869. Nr. 11. Die Arbeit ist vom 10. Aug. 1868 datirt, doch habe ich von einer ausführlichen Publikation, die in Aussicht gestellt wird, bis dahin nichts erfahren.

gelben, grünen und blauen Strahlen drangen;[1] 3) mässig concentrirtes Kupferoxydammoniak, welches bekanntlich die stärker gebrochene Hälfte des sichtbarer Spektrums durchlässt und endlich 4) eine gelbe Lösung von deren chemischer Natur gar nichts gesagt wird, die aber nach einer weiterhin anzuführenden citirten Arbeit von J. MÜLLER eine Auflösung von doppelt chromsaurem Kali gewesen sein muss.

Drei Apparate wurden immer gleichzeitig exponirt, von denen einer entweder mit Wasser oder mit einer farbigen Flüssigkeit gefüllt war, deren Zersetzungskraft im Verhältniss zum Wasser durch eine vergleichende Untersuchung bereits gefunden wurde. Die Zahlen, welche sich für die hinter farbigen Medien zersetzte Kohlensäure ergeben, wenn man die hinter Wasser, im weissen Licht, zersetzte Menge dieses Gases gleich 100 setzt, sind das Einzige, was von den analytischen Resultaten mitgetheilt wird.

TIMIRJASEFF construirt nun eine Curve der Zersetzungskraft, indem er den einer Flüssigkeit entsprechenden Theil des Spektrums als Abscisse betrachtet und auf deren Mitte als Ordinate den Quotient aus der zersetzten Kohlensäuremenge durch die Ausdehnung des durchgelassenen Spektrums einstellt. Die so erhaltene Curve findet er mit der Intensitätscurve der Wärme im Spektrum gut übereinstimmend und kommt so zu dem Resumé: »Obgleich diese Resultate nicht hinreichen, um zu beweisen, dass die Zersetzung den Erwärmungskräften der Sonnenstrahlen proportional ist, so glaube ich doch, dass sie diesen Schluss sehr wahrscheinlich machen, und jedenfalls können sie mit der DRAPER'schen Ansicht nicht in Einklang gebracht werden«. (Wonach das Maximum der Zersetzungskraft mit dem Maximum der Leuchtkraft zusammenfällt).

TIMIRJASEFF betrachtet als Abscissen die Ausdehnung der durch die Flüssigkeiten passirenden Strahlen des Spektrums, eines Spektrums, das wie man aus der beigegebenen Tafel entnehmen kann, ein mehr oder weniger ideales ist, wie das in der Regel bei den zu bildlichen Darstellungen benutzten Spektra der Fall ist, bei welchem in diesem Falle aber die minder brechbare Seite stark zusammengedrängt ist, etwa so wie in dem durch ein Flintglasprisma erhaltenen Spektrum. Nun aber ist bekanntlich bei gleichem brechenden Winkel das Verhältniss der totalen und partiellen Dispersion der Strahlen je nach dem Medium, aus welchem ein Prisma angefertigt wurde, ein anderes und so ist z. B. das durch ein Flintglasprisma erhaltene Spektrum nahezu dreimal länger als ein durch ein Wasserprisma entworfenes, bei jenem hat aber das Roth eine 2,5, das Gelb eine 2,8 und das Violett eine fast viermal grössere Ausdehnung als im Wasserspektrum.[2]

1) Diese Lösung wird bei Anführung ihres Spektrums »gelbe Lösung« genannt, späterhin aber immer als »grüne Lösung« bezeichnet.

2) Siehe die Tabelle des Verhältnisses der partiellen und totalen Dispersion verschiedener Substanzen von FRAUENHOFER, in WÜLLNER's Lehrb. d. Physik Bd. 1, 2, p. 737.

Es lässt sich in keiner Weise rechtfertigen, warum gerade ein Spektrum gewählt wurde, in welchem die rothen und angrenzenden Spektralfarben relativ stark zusammengedrängt sind, würde man aber mit Zugrundelegung des Wasserspektrums in der von Timirjaseff befolgten Weise und mit dessen gefundenen Zersetzungswerthen eine Curve construiren, so würde diese mindestens mehr Aehnlichkeit mit der Helligkeitscurve, als mit der Wärmecurve ergeben. Diese einfache Reflexion reicht schon vollständig aus, um Timirjaseff's Hypothese als ein ganz fehlerhaft gewonnenes Produkt zu bezeichnen und habe ich wohl nicht nöthig noch ausführlich auseinanderzusetzen, dass die Methode der Gewinnung der Ordinaten selbst iene ganz ungerechtfertigte ist. Haben Strahlengruppen bestimmter Brechbarkeit einen specifischen, aber ungleich grossen Einfluss auf die Zersetzung der Kohlensäure, wie es ja Timirjaseff selbst voraussetzt, so kann man doch gewiss nicht einen für einige Spektralfarben zusammen gefundenen Mittelwerth direkt der Construktion einer Zersetzungscurve zu Grunde legen. Timirjaseff hätte aber auch, wie er selbst zugibt, die dunklen Wärmestrahlen berücksichtigen müssen; anstatt aber, wie er die Hoffnung ausspricht, dann eine noch grössere Uebereinstimmung von Wärmecurve und Zersetzungscurve zeigen zu können, würde er sich schon von der Unhaltbarkeit seiner Hypothese überzeugt haben, sobald er nun seine farbigen Medien auf Durchlässigkeit für dunkle Wärmestrahlen geprüft hätte. Denn wie Desains [1]) in neuester Zeit zeigte, absorbirt schon eine sehr dünne Schicht einer Chlorkupferlösung alle dunklen Wärmestrahlen, während diese zum grossen Theil durch Kupferoxydammoniak passiren. Die Zersetzungskraft der durch erstere Lösung dringenden Strahlen ist aber bei Timirjaseff 47, die der durch letztere Lösung gehenden nur 18 und doch ist die dunkle Wärme des Sonnenspektrums mehr als das Doppelte von der leuchtenden.

Warum prüfte denn aber Timirjaseff nicht die Wirkung der dunklen Wärmestrahlen? Hatte doch Draper — und Timirjaseff kannte, nach den Citaten zu schliessen, diese Arbeit — schon dargethan, dass dieselben Kohlensäurezersetzung nicht zu bewirken vermögen und behauptete doch Cailletet dasselbe. Die Abfertigung Draper's bleibt mir unverständlich, gegen Cailletet aber wird eingewandt, dass die Anwendung von Jodlösung in Schwefelkohlenstoff nur bei Benutzung von Steinsalzgefässen entscheiden könne, da Glas zu viel dunkle Wärme absorbire. Dass Glas dunkle Wärmestrahlen absorbirt ist freilich richtig, doch gilt dieses besonders für die Strahlen grösster Wellenlänge, in geringem Grade für die des Wärmemaximums und die nächst benachbarten, [2]) die doch nach Timirjaseff's Hypothese am meisten leisten müssten. Da aber in dem Focus eines Hohlspiegels Platinblech auch

1) Compt. rendus 1870, Sitzung vom 21. Mai.

2) Vgl. hierüber Masson u. Jamin's Resultate in Wüllner's Physik, Bd. II, 3, p. 335.

dann noch erglüht,[1]) wenn die dunklen Wärmestrahlen vor ihrer Vereinigung ein mit Jodlösung gefülltes Glasgefäss hatten passiren müssen, so reicht deren Intensität doch gewiss auch noch aus, um Kohlensäure durch Pflanzen zerlegbar zu machen, wenn überhaupt den nicht leuchtenden Wärmestrahlen diese Fähigkeit zukommt; Timirjaseff's bezüglicher Einwand beruht auf demselben logischen Fehler, den Sachs in Betreff des Experimentirens im Dunkeln rügte.[2]) Ferner müsste nach der abgehandelten Hypothese Kohlensäure auch im Dunkeln zersetzt werden können, wenn nicht Timirjaseff den dunklen Wärmestrahlen der Sonne und den von irgend einem warmen nicht leuchtenden Körper ausgegebenen Wärmestrahlen eine ganz verschiedene Wirkung zuschreiben will. Eine solche Annahme kann er aber den von Physikern gelieferten Beweisen gegenüber unmöglich aufrecht halten.

Endlich stellt Timirjaseff die Menge der zersetzten Kohlensäure und den Wärmeeffekt den J. Müller hinter gleichen farbigen Flüssigkeiten bestimmte, nebeneinander, um durch die gut übereinstimmenden Zahlen seine Hypothese zu unterstützen. Eine solche Uebereinstimmung wie sie in der That in dem von Timirjaseff gelieferten Täfelchen zu finden ist, würde, wie sich sehr überzeugend darthun lässt, gar nicht einmal etwas beweisen, zudem existirt diese Uebereinstimmung nicht einmal, wenn man die von J. Müller faktisch angegebenen Zahlen heranzieht. Mich jeden Urtheiles enthaltend stelle ich hier einfach Timirjaseff's bezügliches Täfelchen (p. 174) und Müller's Zahlen untereinander.

	Menge der zersetzten Kohlensäure.	Wärmeeffekt der entsprechenden Strahlen (nach Müller).
Unter dem Wasser	100,0	100
,, der gelben Lösung	86,2	75
,, der grünen Lösung	47,5	48
,, der rothen Lösung	36,2	36
,, der blauen Lösung	18,0	9

Wärmeeffekt für dieselben farbigen Medien nach J. Müller:[3])

	I.	II.	III.	
Farbloses Wasser	100	100	100	100
Rothe Lösung	37	35	38	40
Gelbe Lösung	65	64	70	74
Grüne Lösung[4])	9	—	—	13
Blaue Lösung	9	9	9	13

1) Tyndall, die Wärme betrachtet als eine Art der Bewegung, übers. von H. Helmholtz u. G. Wiedemann, 1864; besonders den Anhang zum XII Cap., p. 548 ff.

2) Handb. d. Experimentalphys., p. 4.

3) Poggendorfs Annal. 1858, Bd. 105, p. 346.

4) Diese Lösung von Chlorkupfer soll nach J. Müller nur grüne Strahlen durchlassen. Kalt gesättigte Lösungen, die ich mir darstellte, liessen aber immer auch einen grossen Theil der gelben und blauen Strahlen hindurch, in heiss gesättigten Lösungen finde ich neben

Die drei ersten Vertikalreihen geben die aus der direkten Beobachtung am Thermomultiplikator sich berechnenden Zahlen, wenn der Wärmeeffekt des Wassers gleich 100 gesetzt wird. Die Bedeutung der Zahlen der letzten Columne wird aus dem folgenden wörtlichen Citate ersichtlich. »Dass die Summen der Wärmemengen, welche durch die gelbe, die grüne, die blaue Lösung, (also 70 + 9 + 9 = 88) nicht gleich ist der durch farbloses Wasser gehenden Wärmemenge 100, liegt offenbar nur daran, dass jede der farbigen Lösungen auch einige Absorption auf Strahlen ihrer Farbe ausübt, wie wir ja von der grünen Lösung wissen, dass sie nicht alle grünen Strahlen des Spektrums durchlässt. Vertheilen wir die Differenz 100 — 88 = 12 in der Weise, dass 2 auf Roth, 2 auf Orange und Gelb, 4 auf Grün, 4 auf Blau, Indigo und Violett kommt, so ergeben sich für die erwärmende Kraft der einzelnen Strahlenabtheilungen des Spektrums, die in der letzten Vertikalreihe obiger Tabelle angegebenen Werthe.«

Soweit es sich nur darum handelt, den Process der Gasabscheidung durch Wasserpflanzen in seiner Abhängigkeit vom Licht verschiedener Qualität kennen zu lernen, ist die Sachs'sche Methode jedenfalls unter allen angewandten die nicht nur am leichtesten und schnellsten ausführbare, sondern auch die genaueste. Ein genaues Mass für die Energie der Assimilation unter dem Einfluss verschiedener Spektralfarben gibt aber diese Methode nicht, da wie schon früher angedeutet, der Sauerstoffgehalt des ausgeschiedenen Gases um so mehr sinken wird, je langsamer die Blasen aufeinander folgen. Dass die durch vergleichendes Blasenzählen erhaltenen Resultate gegenüber der hinter einem farbigen Medium zersetzten Kohlensäure zu hoch ausfüllen, zeigen später mitzutheilende Versuche sehr evident. Beim Aufsammeln und Messen der Gase macht sich derselbe Fehler natürlich geltend und zudem kommen Diffusions- und Absorptionserscheinungen in einer kaum zu controllirenden Weise hinzu. So können alle die Versuche, welche mit in Wasser liegenden Pflanzen über Wirkung farbigen Lichtes auf die Assimilation angestellt wurden, auf eine hinreichende Genauigkeit der Resultate keinen Anspruch machen, auch wenn mit der grössten Sorgfalt zu Werke gegangen wurde.

Wenn hingegen mit Luft gemengte Kohlensäure von Pflanzen zersetzt

---

einem sehr lichtschwachen Grün auch immer noch etwas Blau. — Diese Lösung war bei Müller viel concentrirter als bei Timirjaseff, was letzterer nicht angibt, dagegen die geringere Uebereinstimmung, welche sein Täfelchen für die gelbe Lösung (dopp. chroms. Kali) zeigt, durch grössere Concentration dieser bei Müller erklären zu können glaubt. Nach den spektroskopischen Angaben war aber diese Lösung bei beiden Autoren jedenfalls ziemlich gleich concentrirt.

wird, so lässt sich, wie die schönen Untersuchungen BOUSSINGAULT's zeigen, der gasometrische Theil der Versuche mit einer für physiologische Arbeiten übrig ausreichenden Genauigkeit ausführen. CAILLETET war der erste, welcher die Wirkung farbigen Lichtes auf die Assimilation nicht an in Wasser liegenden, sondern in mit Kohlensäure gemengter Luft befindlichen Pflanzen kennen zu lernen suchte. Indess bringt seine Arbeit die bezüglichen Fragen um keinen Schritt vorwärts und dass auch TIMIRJASEFF's vorläufige Mittheilung mich nicht abhalten konnte dieses Thema aufzunehmen, wird nach der vorausgegangenen Kritik von dessen Arbeit begreiflich erscheinen. Meine Versuche wurden im Sommer 1870 im physiologischen Laboratorium der Universität Würzburg angestellt und freue ich mich hier meinem verehrten Lehrer, Herrn Professor SACHS, für Anregung und Unterstützung meinen besten Dank aussprechen zu können.

Apparate und Methode.

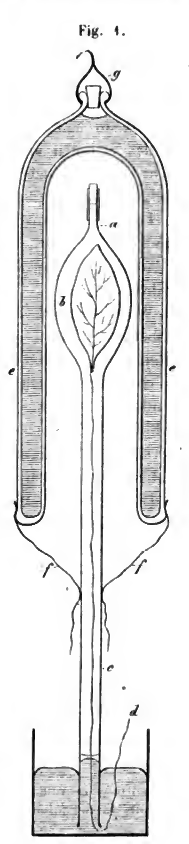
Meine Versuche über Assimilation wurden in einem kohlensäurereichen Luftgemenge mit Blättern einiger Landpflanzen ausgeführt. Das Prinzip der Methode bestand darin, bestimmte Mengen von Kohlensäure zuzufüllen, die nach der Exposition zurückgebliebene Quantität dieses Gases zu bestimmen und als Differenz die zersetzte Kohlensäure zu finden.

Die Gesammthöhe der angewandten Apparate beträgt ungefähr 360 Mm. von welchen etwa 260 Mm. auf das calibrirte Rohr *c* — es sei in Folgendem Steigrohr genannt — fallen. Dieses ist am oberen Ende in einer Länge von 70 bis 75 Mm. zu einem Bauche (*b*) aufgeblasen und endet mit dem kleinen offenen Rohr *a*, dessen Durchmesser etwa 3 Mm. ist; der Volumgehalt beträgt 115 bis 120 C. C., von welchen etwa 75 C. C. dem Bauch zukommen. Der Nullpunkt für die Graduirung wird von der durch die freie Aussenöffnung des Röhrchens *a* gelegten Ebene gebildet, die Theilstriche sind aber erst auf das Steigrohr aufgetragen, welches seiner ganzen Länge nach calibrirt ist. Die Höhe, welche ein Cub. C. in dem Steigrohr einnimmt, schwankt bei den verschiedenen Apparaten, von denen mir sechs zur Verfügung standen, zwischen 5,5 und 6 Mm. Die Theilung selbst war nur in $^1/_2$ Cub. C. ausgeführt, doch ermöglichte ich eine genaue Ablesung bis zu $^1/_{10}$ Cub. C. indem ich diese Theilstriche mit Lack auftrug. Dieses war sehr leicht auszuführen, da bei den Versuchen, mit sehr wenigen Ausnahmen, alle Ablesungen an dem gleichen und ziemlich beschränkten Theile des Rohres vorgenommen wurden.

Die Ausführung der Versuche geschieht nun in folgender Weise. Der nöthigenfalls bis auf ein kurzes Ende weggeschnittene Blattstiel wird an einen ganz dünnen Eisendraht vermittelst Durchstechens und mehrmaligen Umschlingens genügend befestigt. Dieser Draht (*d*), bestimmt das Blatt nach

der Exposition herausziehen zu können, hat eine solche Länge, dass er noch ein ziemliches Stück aus dem Steigrohre hervorsieht, wenn das Blatt in den Bauch geschoben ist. Dieses Hinaufschieben ist, obgleich das Steigrohr nur 14 bis 15 Mm. Durchmesser hat, auch für breitere Blätter leicht auszuführen, indem man die beiden Seitenränder sanft nach rückwärts umbiegt, das Blatt in das Rohr steckt und dann vermittelst eines gegen das kurze Blattstielende gestemmten Holzstabes in den Bauch langsam hinaufdrückt, wo es sich wieder völlig ausbreiten kann.

Fig. 1.



Das Röhrchen *a*, über welches ein Stück nicht vulcanisirten Kautschuckschlauches befestigt ist, blieb bis dahin unverschlossen und bleibt es auch jetzt noch, während das Steigrohr in ein cylindrisches Quecksilber enthaltendes Glasgefäss gestellt wird. Dann werden sogleich mittelst einer Pipette 0,2 bis 0,3 C. C. Wasser über das Quecksilber in dem Steigrohr gebracht. Diese Wasserschicht ist zur Verhütung der die Assimilationsthätigkeit des Blattes beeinträchtigenden Quecksilberdämpfe nothwendig.[1] Die zu einem vergleichenden Versuche bestimmten und in gleicher Weise hergerichteten Apparate werden nun mit einem bestimmten Theilstrich in das Quecksilberniveau eingestellt und in allen das Quecksilber auf gleiche Höhe emporgehoben, eine Operation die durch Saugen leicht auszuführen ist. Um sicher zu sein, dass nicht kohlensäurereiche Athmungsluft in den Apparat geräth, wende ich hierbei eine mit doppelt durchbohrtem Kork geschlossene und mit Wasser gefüllte Flasche an, in welcher ein zweimal rechtwinklig gebogenes Rohr bis auf den Boden reicht, ein einmal rechtwinklig gebogenes Rohr mit dem Korke endet. Mit dem anderen Schenkel wird ersteres in den über das Röhrchen *a* gezogenen Kautschuckschlauch gesteckt und durch Saugen am anderen Rohr das Quecksilber gehoben, mit einem zuvor über

1) Die nachtheilige Wirkung des Quecksilberdampfes auf Pflanzen wurde bereits im Jahre 1797 in einem Briefe holländischer Chemiker an van Mons angezeigt. (Dieser Brief

das Röhrchen *a* gesteckten Quetschhahn wird dieses zur geeigneten Zeit abgeschlossen. In den Kautschuckschlauch bei *a* wird dann ein Stück Glasstab geführt und nach der Entfernung des Quetschers bis auf die Ränder des Röhrchens *a* heruntergedrückt, denen jenes sich mit seiner abgeschliffenen und zuvor eingefetteten Fläche völlig anschliesst.

Dieser Schluss ist durchaus vollkommen, wie ich mich durch eine Reihe von Versuchen vergewisserte. Selbst als ich das Quecksilber bis zu 200 Mm. über Niveau hob und die Apparate während dreier Tage stehen lies, stellte sich das Volumen mit Berücksichtigung von Temperatur und Druck als ganz gleich heraus; auch wenn das Quecksilber bis zu 40 Mm. unter Niveau stand, wurde ein gleiches übereinstimmendes Resultat erzielt. Auch lassen sich keine Aenderungen im Gasvolumen bemerken, wenn man den Glasstöpsel nach wiederholtem Hin- und Herbiegen von Neuem fest andrückt; bei der Ausführung der Versuche wird übrigens dieser Schluss gar nicht angerührt.

War das Quecksilber in der beschriebenen Weise auf eine gewisse Höhe gehoben und hatte sich die Gastemperatur ausgeglichen, so wurde das Gasvolumen am unteren Wassermeniscus, ferner die Höhe der Wasserschicht und die Höhe der Quecksilbersäule über Niveau abgelesen. Nach einer ein für allemal für eine jede der Versuchsröhren zusammengestellten Tabelle, wird die in Cub. C. abgelesene Quecksilbersäule in Millimeter Höhe umgesetzt, welche dann also die vom Barometerstand abzuziehende Druckhöhe angeben, wenn noch der der Wasserschicht entsprechende Quecksilberdruck hinzuaddirt wird. Dieser ist übrigens, selbst wenn späterhin zum Absorbiren der Kohlensäure Kalilauge in das Versuchsrohr gegeben war, nur sehr gering, wurde aber immer in Rechnung gebracht. Mit Berücksichtigung des specifischen Gewichtes, welches nach dem Zubringen des Kalis die auf dem Quecksilber schwimmende Lauge erhielt, musste bei den verschiedenen Versuchen eine Wasserschicht von 0,4 bis 0,6 Cub. C., respektive ein entsprechender Quecksilberdruck von 0,2 bis 0,3 Mm. der Höhe der Quecksilbersäule im Steigrohr hinzugerechnet werden.

Das abgelesene Gasvolumen ist aber noch zu gross um den Raum, welchen Blatt und Draht einnehmen. Das Volumen dieser wurde nach Beendigung des Versuches durch Eintauchen in Wasser in einem ziemlich

---

ist abgedruckt in Annal. d. Chim. et d. Phys. I sér, tom. XXII, p. 122.) Spallanzani, der gleichfalls die Schädlichkeit der Quecksilberdämpfe kannte, legte eine Glasscheibe über das zum Sperren angewandte Quecksilber. Saussure wandte die Bedeckung des Quecksilbers mit Wasser an, statt dessen man nach den Versuchen von Boussingault wohl auch ein wenig Schwefel über dem Quecksilber anbringen könnte. Obgleich die Tension des Quecksilberdampfes eine so ausserordentlich geringe ist, so zeigen doch Boussingault's Versuche, wie selbst schon in kurzer Zeit die Assimilationsthätigkeit der Blätter dadurch beeinträchtigt werden kann. (Boussingault in Compt. rendus 1867, Tom. 64, p. 924 ff. u. 983 ff.; ibid. 1865, Tom. 61, p. 658 ff. u. Agronomie, Chimie agricol et Physiol. Bd. 4, 1868, p. 336 ff.).

engen Gasmessrohr ermittelt. Diese Bestimmung ist, wie nachher mitzutheilende Versuche zeigen werden, hinreichend genau, wenn nur dafür gesorgt wird, dass den Blattflächen möglichst wenig Luft adhärirte, was bei allen von mir angewandten Blättern sehr leicht durch Anfeuchten und Trockenwischen zu erreichen war. Endlich müssen auch für den Wassermeniscus 0,3 Cub. C. am Gasvolumen abgezogen werden.

Nach Abzug des Blattvolumens und mit Berücksichtigung der Meniscuscorrektion sind alle in dieser Arbeit vorkommenden Gasvolumina auf 0° Temperatur, 1 Met. Quecksilberdruck und Zustand der Trockenheit reduzirt. [1]) Die Dichtigkeitsänderung des Quecksilbers brauchte nicht beachtet zu werden, da die Temperaturschwankungen bei den zur Analyse nothwendigen verschiedenen Ablesungen meist unter 2° C. blieben und nur wenigemal um ein ganz Geringes 2 C. überstiegen. [2])

Sind die zur Berechnung des Luftvolumens nöthigen Ablesungen gemacht, so wird Kohlensäure in die Versuchsröhren eingefüllt und zwar für einen vergleichenden Versuch in jede derselben ziemlich gleichgrosse Mengen. Eine völlige Uebereinstimmung ist ganz unnöthig, da doch ungleich grosse Quantitäten bei den Experimenten zersetzt werden. Das Einfüllen der Kohlensäure geschah direkt aus dem Apparate, in welchem dieselbe aus Marmor und Salzsäure entwickelt und durch eine gesättigte Lösung von doppelt kohlensaurem Natron gewaschen wurde. Auf diese Weise bleibt keine Spur von Salzsäure der Kohlensäure beigemengt, wie ich mich beim Durchleiten eines sehr kräftigen Gasstromes durch Silberlösung überzeugte; auch die Ueberwindung des Quecksilberdruckes hat keine Schwierigkeiten, indem man einfach das Eingussrohr am Entwicklungsapparate mit einem Korke verschliesst. Natürlich wurde vor dem Zufüllen constatirt, dass alle Luft aus dem Kohlensäureapparate verdrängt war.

Das Luftvolumen von dem nach dem Einfüllen der Kohlensäure in gleicher Weise reduzirten Gasvolumen subtrahirt, ergibt die Menge der zugefüllten Kohlensäure; der sehr geringe Kohlensäuregehalt der Luft von ungefähr 0,04 Procent (dem Volumen nach) kann begreiflicherweise vernachlässigt werden, da er bei den hier in Betracht kommenden Luftmengen eine in den angewandten Apparaten ganz unablesbare Grösse ausmacht.

Die Helligkeit auf dem hinter einem Nordfenster befindlichen Tische,

---

1) Bunsen, gasom. Methoden, 1857, p. 42. — Die Reduktion geschieht nach der bekannten Formel:

$$v^1 = \frac{(v-m)(b-b^1-b^2)}{(1+0{,}00366\,t^0)},$$

wo v^1 das reducirte Gasvolumen ist; v bezeichnet das abgelesene Gasvolumen, m die Meniscuscorrektion, b den beobachteten Barometerstand, b^1 die für die Quecksilbersäule im Eudiometer abzuziehende Druckhöhe und b^2 die Tension des Wasserdampfes bei der Temperatur t^0.

2) Bunsen l. c., p. 43.



auf welchem die Apparate bei den vorgenannten Operationen und überhaupt allen analytischen Arbeiten standen, reichte hin, um geringe Menge Kohlensäure durch die Blätter zersetzbar zu machen. Zu den Versuchen wurden immer nur Blätter gewählt, welche bereits einige Stunden insolirt worden waren, jedenfalls also keine besonders grossen Mengen Kohlensäure im absorbirten oder gasförmigen Zustand einschliessen konnten. Wenn also auch, so lange sich die Blätter in reiner Luft befanden, nicht zu befürchten war, dass durch längeres Stehen zum Zwecke der Temperaturausgleichung eine Fehlerquelle entstand, da Kohlensäure nicht gebildet werden konnte, so war es doch immerhin erwünscht die Zeitdauer zwischen der Zusammenstellung der Apparate und den nöthigen Ablesungen möglichst zu verkürzen und nach dem Einfüllen der Kohlensäure war dieses sogar geboten. Um nun die zur Temperaturausgleichung nothwendige Zeit so klein als möglich zu machen, wurde beim Einführen der Blätter und ebenso bei allen anderen Manipulationen eine direkte Berührung der Apparate mit der Hand vermieden und immer nur mit einem dickem Tuche angefasst; beim Einfüllen der Kohlensäure wurden aber die Apparate gar nicht berührt und selbst eine zu grosse Annäherung der Hand verhütet. Wie mich Versuche lehrten, hatte bei Berücksichtigung dieser Vorsichtsmassregeln das Luftvolumen schon 10 Minuten nach dem Hinstellen der Apparate seine Temperatur soweit ausgeglichen, dass eine nach längerer Zeit vorgenommene Ablesung keine Veränderung mehr entdecken konnte. Ich verfuhr nun in der Weise, dass ich 6 bis 7 Minuten nach der definitiven Zusammenstellung der Apparate eine Ablesung machte, weitere 5 Minuten wartete und mich vergewisserte, dass eine Volumenveränderung nicht mehr stattgefunden hatte. Dies traf fast immer zu, wenn nicht, so liess ich noch weitere fünf Minuten von der letzten bis zu einer folgenden Ablesung verstreichen. Nach dem Einfüllen der Kohlensäure wurde die erste Ablesung nach fünf Minuten gemacht, die in allen Fällen mit einer zweiten nach weiteren 5 Minuten vorgenommenen übereinstimmte. Unter dem Einfluss der hierbei herrschenden Beleuchtung sind aber, wie auch Versuche lehrten, die innerhalb 10 Minuten zersetzten Kohlensäuremengen so gering, dass sie sich jeder Ablesung entziehen. Ein Blatt von Prunus laurocerasus von 22 C. Q. Fläche hatte an einem besonders hellen Tage während fünfstündigen Stehens auf dem Gastisch, von 8 Uhr bis 1 Uhr Morgens, 0,5 C. C., in 10 Minuten also 0,016 C. C. Kohlensäure zersetzt und für ein Oleanderblatt von 25 C. Q. Blattfläche wurden an einem anderen gleichfalls hellen Tage, während 6 Stunden 0,7 C. C., in 10 Minuten also 0,019 C. C. zersetzter Kohlensäure gefunden.

Unmittelbar nach Beendigung der letzten Ablesungen werden die Blätter in der weiterhin zu beschreibenden Weise Strahlen verschiedener Brechbarkeit ausgesetzt und sofort nach Beendigung der Exposition vermittelst des Eisendrahtes aus den Versuchsröhren entfernt. Dreht man das Blatt während es durch die sperrende Quecksilbersäule gezogen wird hin und

her, so steigen allenfalls anhaftende Glasbläschen in das Versuchsrohr zurück und auch von der Wasserschicht wird nur sehr wenig durch das Blatt entfernt, was ja überdies für die Bestimmung des Gasvolumens gleichgültig ist. Da Gas und Quecksilber während der Exposition stark erwärmt wurden, so bleiben nun die Apparate ein bis zwei Stunden stehen ehe weitere Ablesungen gemacht werden. Die hieraus, natürlich ohne Abzug des Blattvolumens, sich berechnenden Gasmengen, ergeben, mit den früher gefundenen verglichen, die Volumenänderung während der Exposition.

Zur Absorption der Kohlensäure wurden etwa 0,2 C. C. einer gesättigten Kalilauge in die Apparate gebracht. Es ist dieses leicht mit einer an der Spitze umgebogenen Pipette auszuführen, in welche man etwas Lauge aufsaugt, das obere Ende verschliesst und durch einfaches Erwärmen vermittelst der Hand die kleine Menge Flüssigkeit zum Austreten bringt. Die Kohlensäure dürfte wohl immer nach zwei Stunden absorbirt gewesen sein, indess blieben meine Apparate jedesmal über Nacht, stets mindestens 15 Stunden stehen und so ist gewiss nicht nöthig Belege beizubringen, dass die Absorption in allen Fällen eine vollständige war. Die Differenz des Gasvolumens nach der Exposition und nach der Absorption der Kohlensäure ergibt das Volumen der nicht zersetzten Kohlensäure, und dasselbe mit der bekannten eingefüllten Menge dieses Gases verglichen lernt das zersetzte Kohlensäurevolumen kennen.

Eine gasometrische Bestimmung der Kohlensäure ist bekanntlich mit grösster Genauigkeit auszuführen und zudem ist die Kenntniss der zersetzten Kohlensäuremenge das genauste Maass für die assimilirende Thätigkeit des Blattes, die durch Bestimmung des gebildeten Sauerstoffgases nicht mit gleicher Präcision gemessen wird, da nach Boussingault's Versuchen ein annährend, aber meist nicht absolut gleiches Volumen von Sauerstoffgas für die zersetzte Kohlensäure gebildet wird. Da eine genaue Bestimmung des Sauerstoffs[1]) immer umständlich ist, was natürlich bei einer solchen Zahl von Analysen, wie sie hier nöthig waren, schwer ins Gewicht fällt, so habe ich mich allein auf die sicher und leicht ausführbare Messung der Kohlensäure beschränkt.

In dem Folgenden werde ich nun auch zeigen, dass die Fehler, welche durch das Herausführen des Blattes und durch die Absorptionsverhältnisse des über dem Quecksilber befindlichen Wassers veranlasst werden können, selbst im ungünstigsten Falle so gering sind, dass in dem rein gasometrischen Theile ein für unsere Zwecke mehr als hinreichende Genauigkeit garantirt wird.

---

1) Wirklich genaue Sauerstoffbestimmungen lassen sich nicht wohl anders, als durch Verpuffen mit Wasserstoff machen. Es gilt dieses namentlich für Gasgemenge, welche mehr Sauerstoff als atmosphärische Luft enthalten, da dann nach einer freundlichen Mittheilung des Herrn Professor Carius bei Anwendung von pyrogallussaurem Kali Kohlenoxydgas gebildet wird.

Ein in keinem Falle mehr ablesbarer Fehler entspringt aus den Absorptionsverhältnissen des das Quecksilber bedeckenden Wassers. Ich wende mich sofort zu einem concreten Falle und nehme an, dass zu 65 C. C. Luft 8 C. C. Kohlensäure gefüllt werden, ein Verhältniss, wie es meist annähernd in meinen Versuchen realisirt war.

Mit Vernachlässigung der Tension des Wasserdampfes absorbiren dann 0,3 C. C. Wasser bei 0,76 M. Quecksilberdruck und 20° C. folgende Mengen der Luftgase: [1])

Stickstoff	0,0033	C. C.
Sauerstoff	0,0048	,,
Zusammen also	0,0051	C. C. Gas.

Werden nun zu den 65 C. C. Luft 8 C. C. Kohlensäure gefüllt, so nehmen 0,3 C. C. Wasser unter der partiären Pressung der Gase dieses Gemenges und unter gleichen Bedingungen wie oben auf

von Kohlensäure	0,0296	C. C.
,, Stickstoff	0,0030	,,
,, Sauerstoff	0,0016	,,
Zusammen	0,0342	C. C. Gas.

Die Aenderung in der absorbirten Menge von Stickstoff und Sauerstoff ist wie man sieht eine sehr geringe, von Kohlensäure wurden aber fast 0,03 C. C. im Wasser aufgenommen, die sich also einer Ablesung entziehen würden, wenn diese überhaupt eine so weit gehende Genauigkeit erlaubte. Zersetzte nun ein assimilirendes Blatt alle vorhandene Kohlensäure, so würde auch die im Wasser absorbirte allmälich wieder in die Luft diffundiren und mit verarbeitet werden, im Wasser aber eine ziemlich gleiche Gasmenge wie vor dem Einfüllen der Kohlensäure gelöst bleiben. [2]) Da aber für die zersetzte Kohlensäure ein annähernd gleiches Volumen Sauerstoffgas [3]) gebildet wird, so wird um dieses das gesammte Volumen nach der Exposition grösser geworden sein, vorausgesetzt, dass durch die Assimilation selbst keine Aenderung im Gasvolumen herbeigeführt wurde.

Die berechneten Zahlen zeigen, dass es sich hier um so geringe Gasmengen handelt, dass an eine Ablesung in unseren Apparaten nicht im Entferntesten zu denken ist. Uebrigens fallen bei der Ausführung der Experimente die Fehler noch viel geringer als die berechneten Zahlen aus. Denn meist wurden viel weniger als 8 C. C. Kohlensäure zersetzt; dann war der Quecksilberdruck stets viel geringer als 0,76 M., da von dem

---

1) Vergl. Bunsen, gasom. Method., p. 139.

2) Faktisch etwas mehr, da die Luft reicher an Sauerstoff wird und der Absorptionscoefficient dieses Gases höher als für Stickstoff ist.

3) Wie schon bemerkt ist es nicht sicher, dass für jedes Volumen zersetzter Kohlensäure ein gleiches Volumen Sauerstoff gebildet wird.

für sich schon meist niedereren Barometerstand noch die Höhe der Quecksilbersäule im Versuchsrohr abzuziehen war; ferner war die Temperatur meist höher als 20 C. und endlich ist auch die Tension des Wasserdampfes nicht in Rechnung gezogen worden. Bekanntlich ändert sich aber die Menge eines absorbirten Gases dem Druck proportional und die Absorptionscoefficienten nehmen mit steigender Temperatur nach einem für jedes Gas spezifischen Verhältniss ab.

Beim Zubringen der Kalilauge wird die Flüssigkeit zwar bis auf 0,4 bis 0,5 C. C. vermehrt, allein jetzt verschwindet die Kohlensäure und nur Sauerstoff und Stickstoff kommen als drückende Gase (neben Wasserdampf) in Betracht, die ja nur in geringer Menge in Wasser absorbirt werden. [1])

Bedenklicher mag das Herausziehen des Blattes nach der Exposition erscheinen, doch zeigen hier meine mitzutheilenden Versuche, dass sich dieses bei gehöriger Sorgfalt ausführen lässt, ohne dass nach der Berechnung eine Schwankung in dem Gasvolumen zu bemerken ist. Die Aenderungen, welche in der Zusammensetzung der in den Intercellularräumen des Blattes eingeschlossenen und in den Zellflüssigkeiten absorbirten Gase während der Ausführung der Experimente stattfinden, lassen sich nicht mit Sicherheit angeben, welches aber das Maximum des Fehlers ist, der hierdurch herbeigeführt werden kann, lässt sich mit einiger Wahrscheinlichkeit voraussagen.

Die zur Verwendung gekommenen Blätter verdrängten 0,5 bis 1,1 C. C. Wasser. Ein Kirschlorbeerblatt von 1,0 C. C. Volumen lege ich den folgenden Betrachtungen zu Grunde; die ausserdem öfters benutzten Oleanderblätter dürften bei ähnlicher lederartiger Beschaffenheit zu wesentlich gleichem Resultate führen. Ein Kirschlorbeerblatt enthält nach Unger [2]) $1/5$ seines Volumens an Gasen in den Intercellularräumen eingeschlossen und gibt ziemlich genau $1/3$ seines Gewichtes an Trockensubstanz. [3]) Da nun Gewicht und Volumen dieser Blätter meist ziemlich gut übereinstimmen, so enthält ein Kirschlorbeerblatt von 1,0 C. C. Volumen an Intercellulargasen etwa 0,2 C. C., an Trockengewicht 0,3 Grmm. und an wässrigen Theilen 0,5 Grmm.

Setzen wir nun einmal voraus, in den Intercellularräumen des Blattes befinde sich reine Luft und auch das in den Zellflüssigkeiten absorbirte Gasgemenge sei dem partiären Druck der Luftgase entsprechend zusammengesetzt. Nun mögen wie oben auf 65 C. C. Luft 8 C. C. Kohlensäure eingefüllt werden und sich die Intercellulargase und absorbirten Gase mit dieser

---

1) Kalilauge nimmt noch etwas weniger von diesen Gasen auf als Wasser.

2) Genau 21,9 %. Bestimmung der in den Intercellularräumen d. Pflz. enthaltenen Luftmenge. Sitzb. d. k. k. Akad. 1854, p. 11 d. Sptabzg.

3) Drei Blätter, grössere und kleinere, die im frischen Zustand 2,450 Grmm. wogen, gaben bei 100 C. getrocknet 0,812 Grmm. Ein Blatt von 1 Grmm. Gewicht würde also 0,331 Grmm. Trockensubstanz liefern.

kohlensäurereichen Luft ins Gleichgewicht setzen. Dann sind in den 0,2 C. C. Intercellulargasen 0,02 C. C. Kohlensäure enthalten und in 0,5 C. C. Wasser [1]) werden 0,0494 C. C. Kohlensäure absorbirt (bei 20 C. und 0,76 M. Quecksilberdruck). Würde jetzt das Blatt herausgezogen werden, so würden also 0,07 C. C. Kohlensäure mit ihm entfernt und um diese müsste eine nunmehr vorgenommene Kohlensäurebestimmung zu gering ausfallen, wenn die Absorption der Kohlensäure in den wässrigen Theilen erst nach Vollendung der zum Zweck der Berechnung dieses Gases angestellten Ablesungen begänne.

Die berechnete Zahl ist aber nun unter allen Umständen zu hoch, da, wenn auch während der Exposition der Druck nicht sehr viel geringer als 0,76 M. war, die Temperatur viel höher als 20 C. stieg und dann wird auch das faktisch abgelesene Gasvolumen bei der Reduktion auf 0°, 1 M. Druck und Zustand der Trockenheit um etwa $1/3$ verringert. So würde unter den oben gemachten Voraussetzungen der Fehler auf etwa 0,05 C. C. steigen und selbst diese Zahl wird nicht erreicht werden können, wenn ein exponirtes Blatt Kohlensäure zersetzt. Denn es wird nicht nur die Luft im Versuchsrohr fortwährend ärmer an Kohlensäure, sondern es verhindert auch der gebildete und im Blatt sich verbreitende Sauerstoff eine Ausgleichung mit dem umgebenden Gasgemenge, die, soweit unsere Erfahrungen reichen, durch Pflanzengewebe überhaupt nicht mit grosser Geschwindigkeit stattfindet. Bei den Versuchen wo die Blätter mit einiger Energie assimilirten, wird also kaum ein auch nur geringer Fehler beim Herausziehen des Blattes durch Entführung von Kohlensäure eintreten können und selbst 0,05 C. C. sind eine für unsere Versuche ganz gleichgültige Gasmenge. Da immer nur zuvor insolirte Blätter angewandt wurden, so wird bei der geringen Zahl von Versuchen, in welchen Kohlensäure sich bildete, ein grösserer als der oben berechnete Fehler auftreten können, da das zuvor jedenfalls nur sehr wenig Kohlensäure einschliessende Blatt während der Versuchszeit eine grössere Menge dieses Gases aufnehmen kann und dann also eine geringere als faktisch gebildete Menge durch die Analyse gefunden werden muss. Da es mir indess bei diesen Versuchen wenig auf absolut genaue Bestimmung der gebildeten Menge Kohlensäure, sondern nur auf Constatirung der Kohlensäurebildung ankam, so habe ich diesen Fehler nicht zu eliminiren gesucht.

Die Ablesungen erlauben eine bis auf $1/10$ C. C. genaue Bestimmung der Gasvolumina und so wird die Amplitude der Fehler bei zwei aufeinanderfolgenden Messungen 0,1 C. C. nicht übersteigen, selbst wenn auch

---

1) Ich wüsste keinen Grund anzugeben, wesshalb Pflanzentheile grössere Gasmengen aufnehmen sollten, als die wässrigen Theile unter entsprechenden Druck- und Temperaturverhältnissen absorbiren. Eher könnte man vermuthen, dass geringere als diesen entsprechende Gasmengen aufgenommen würden, da wenigstens im Allgemeinen die Absorptionscoefficienten für dichtere Flüssigkeiten geringer werden. — Stickstoff und Sauerstoff sind ihrer niedrigen Absorptionscoefficienten halber hier gar nicht weiter berücksichtigt worden.

die durch Herausziehen des Blattes u. s. w. möglichen Ungenauigkeiten nach einer Richtung fallen, was kaum möglich ist. Die jetzt mitzutheilenden Controllversuche zeigen in der That immer eine geringere Fehlergrösse und beweisen, was auch die bisherigen Erörterungen darthun, dass der gasometrische Theil der Methode eine mehr als ausreichende Genauigkeit garantirt.

Bei den folgenden Versuchen, welche zum Zwecke hatten die Genauigkeit der Volumenbestimmung eines Blattes kennen zu lernen, wurden zum Theil Blätter von einer Grösse angewandt, wie sie bei den Assimilationsversuchen nie benutzt wurde. Dieselben wurden in der angegebenen Weise in die Versuchsröhren und zwar in gewöhnliche Luft gebracht, die Ablesungen nach Ausgleichung der Temperatur vorgenommen und das Gas nach Abzug des Blattvolumens auf 0°, 1 Meter Druck und Trockenheit reduzirt (B); die Bestimmung des Blattvolumens (A) geschah durch Eintauchen in Wasser. Einige Zeit nach Entfernung des Blattes wurden wieder Ablesungen gemacht und das reduzirte Volumen aus diesen berechnet (C); die Differenzen zwischen den beiden gefundenen Volumina sind in der letzten Columne (D) aufgeführt.

Blatt von:	A. Durch Eintauchen in Wasser bestimmtes Blattvolumen. C. C.	B. Die Ablesungen bei Anwesenheit des Blattes im Versuchsrohr gemacht. C. C.	C. Ablesungen nach Entfernung des Blattes gemacht. C. C.	D. Differenz der reduzirten Volumina. C. C.
Prunus laurocerasus	1,2	74,40 [1]	74,39	0,01
,, ,, ,,	1,6	76,31	76,26	0,05
,, ,, ,,	0,6	73,43	72,39	0,04
Nerium Oleander	0,8	75,59	75,56	0,03

Diese Versuche, die wie man sieht ein sehr zufriedenstellendes Resultat ergeben, sind nicht etwa aus einer Reihe von Versuchen ausgewählt, sondern sind die einzigen, welche ich in dieser Richtung anstellte.

Nachstehende Versuche sind ohne Beisein von Blättern gemacht, um

1) Wie schon gesagt, sind alle in dieser Arbeit angeführten Gasvolumina auf 0 Grad, 1 Meter Druck und Zustand der Trockenheit reduzirt. Da es unnöthigerweise viel Raum wegnehmen würde, wenn ich jedesmal die nöthigen Rechnungselemente aufführen wollte, so beschränke ich mich darauf, dieses allein für diesen einen Fall zu thun. Das reduzirte Volumen von 74,40 C. C. berechnet sich aus Folgendem: Abgelesenes Gasvolumen 114,8 C. C. von welchem für das Blattvolumen 1,2 C. C., für den Wassermeniscus 0,3 C. C. abzuziehen, 113,3 C. C. also in Rechnung zu nehmen sind. Das Quecksilber stand 5,0 C. C. über Niveau, die Wasserschicht war 0,3 C. C., was zusammen für das entsprechende Rohr eine Quecksilbersäure von 0,0286 M. ergibt, welche vom Barometerstand (0,7493 M.) abzuziehen ist. Die Temperatur beim Ablesen war 19,6 C.

zu erfahren, in wie weit die eingefüllten und durch Absorption mit Kali gefundenen Mengen von Kohlensäure untereinander stimmen. Ich beschränke mich hier darauf die eingefüllten und nach Absorption mit Kali gefundenen Kohlensäurevolumina nebeneinanderzustellen und in der dritten Verticalreihe die Differenzen aufzuführen.

Eingefüllte Kohlensäure. C. C.	Durch Absorption mit Kali bestimmte Co^2. C. C.	Differenz. C. C.
8,13	8,16	0,03
7,02	7,02	0,00
7,49	7,44	0,05

Bei den folgenden Versuchen befand sich, wie es ja auch bei der Ausführung der Experimente der Fall war, während des Zufüllens der Kohlensäure ein Blatt im Versuchsrohr. Wenn die Kohlensäure eingefüllt und die nöthigen Ablesungen beendet waren, so wurde das Blatt sofort herausgezogen, das Gasvolumen wieder bestimmt und durch Absorption mit Kali die Kohlensäure gefunden. Die tabellarisch zusammengestellten Resultate sind ohne weitere Erklärung verständlich.

Ein Blatt im Versuchsrohr.			Nach Entfernung des Blattes.				
A. Luft. C. C.	B. Luft + CO^2. C. C.	C. Eingefüllte CO^2 (A—B) C. C.	D. Luft + CO^2. C. C.	E. Nach Absorption mit Kali. C. C.	F. Gefundene CO^2 (D—E) C. C.	Differenz d. Volumina ($\mp$ B $\pm$ D) C. C.	Differenz d. CO^2. ($\mp$ C $\pm$ F). C. C.
66,87	74,06	7,19	74,00	66,84	7,16	0,06	0,03
65,41	74,39	8,98	74,41	65,48	8,93	0,02	0,05
63,20	70,41	7,21	70,37	63,15	7,22	0,04	0,01
65,07	73,11	8,04	73,14	65,06	8,08	0,03	0,04

Anmerkung: Die Blattvolumina waren: 1) Versuch 1,6; 2) Vers. 0,8; 3) Vers. 1,1; 4) Vers. 0,5 C. C. Im 1. u. 2. Versuch stammten die Blätter von Kirschlorbeer, im dritten von Oleander, im letzten von Tinnantia undata.

Die obigen Zahlen, die gleichfalls nicht etwa aus einer Reihe von Analysen ausgewählt sind, sprechen genügend für sich, um mich weiterer Worte zu entheben. Auch sehen wir hier wieder, was bereits durch frühere Versuche gezeigt wurde, dass die Mengen von Kohlensäure, welche während der 10 Minuten zersetzt werden, welche zwischen dem Einfüllen dieses Gases und den nothwendigen Ablesungen verstreichen, bei der auf meinem Gastisch herrschenden Helligkeit zu gering sind, um sich in irgend einer Weise bemerkbar zu machen. Gegenüber der ungleichen Zersetzungskraft für Kohlensäure, welche selbst möglichst gleichartigen Blättern zukommt,

treten die Fehler der Methode so in den Hintergrund, dass sie als gar nicht vorhanden angesehen werden können.

Nach der Darlegung des gasometrischen Theiles, gehe ich zu der Auseinandersetzung der Art und Weise, wie die Wirkung des farbigen Lichtes auf die Assimilationsthätigkeit der Blätter geprüft wurde, über. Ich bediente mich farbiger Flüssigkeiten, die in diesem Falle der Anwendung eines durch ein Prisma entworfenen Spektrums entschieden vorzuziehen sein dürften. Denn wenn man mittelst dieses genau abzutrennende Partien der gebrochenen Sonnenstrahlen verwenden kann, so ist doch die Helligkeit der einzelnen Spektralfarben bei einem nothwendig sehr in die Breite gezogenem Spektrum eine sehr geringe und dem entsprechend wird selbst in den wirksamsten Farben eine geringe Menge Kohlensäure zersetzt werden. Dadurch verliert aber der analytische Theil an Genauigkeit und eine Vermehrung der Expositionsdauer hat auch mit praktischen Schwierigkeiten zu kämpfen, nicht nur der Beleuchtung halber, sondern auch, weil die Blätter an ihrer Turgescenz und mit dieser an ihrer Zersetzungskraft Einbusse erleiden können, was der stärkeren Erwärmung der Blätter halber auch im dampfgesättigten Raum möglich ist.

Die Flüssigkeiten wurden in doppeltwandige cylindrische Glocken (*e* in der Fig. Seite 15) gefüllt, welche bei einer Höhe von etwa 250 Mm. und einem inneren Durchmesser von ungefähr 60 Mm. eine 12 bis 15 Mm. dicke Flüssigkeitsschicht aufnahmen. Ueber eine in der früher angegebenen Weise mit einem Blatt und kohlensäurereicher Luft beschickte Versuchsröhre wurde eine solche Glocke gestülpt und mittelst eines am Hals befestigten Drahthakens (*g*), der in eine Schleife von Bindfaden gehängt wurde, schwebend gehalten. Da die Glocken bis unter den Hals mit den farbigen Medien angefüllt wurden, so war nur das von unten her zutretende gemischte Licht abzuhalten. Es geschah dieses durch auch in der Sonne ganz undurchsichtiges schwarzes Wachstuch, welches in Form eines offenen Beutels um den unteren Rand der Glocke befestigt und durch Schnüren fest um das Versuchsrohr angezogen wurde (*f*). Um auch die geringe Menge gemischten Lichtes, welche von dem Quecksilber durch das Versuchsrohr zum Blatte reflektirt werden konnte, unschädlich zu machen, überdeckte ich die Quecksilbergefässe mit schwarzem Papier und hielt zum Ueberfluss direktes Sonnenlicht durch vorgestellte, bis an den unteren Rand der Glocke reichende Pappdeckel ab.

Bei der Ausführung der Versuche wurden immer 2, 3 oder 4 Versuchsröhren gleichzeitig hergerichtet und gleichzeitig auch unter die mit verschiedenen Medien gefüllten Glocken gebracht. Nachdem alle gleichlange Zeit an einem Südfenster gestanden hatten (nur zweimal sind mit Cuoammon. Ausnahmen gemacht) wurden die Blätter herausgenommen und in beschriebener Weise die Menge der zersetzten Kohlensäure bestimmt. Das Queck-

silber im Versuchsrohr und im Glasgefäss wurde während der Exposition möglichst im Niveau gehalten.

Eine der Glocken war immer mit Wasser, die anderen mit farbigen Flüssigkeiten gefüllt. Die hinter Wasser, im weissen Licht, zersetzte Kohlensäure ist, wo es sich um Vergleichung der zu verschiedener Zeit angestellten Versuche handelt, gleich 100 gesetzt, die für die entsprechenden Spektralfarben sich ergebenden Zahlen drücken dann also deren Zersetzungskraft in Procenten der Wirkung des gemischten Lichtes aus.

In jeder mit gleichen Medien angestellten Versuchsreihe, sind Versuche sowohl an ganz sonnigen, als auch an theilweise bewölkten Tagen gemacht. Bei sehr intensivem Sonnenschein wurden die direkten Sonnenstrahlen durch vor die Glocken gestellte Schirme von sehr durchscheinendem, dünnem Pergamentpapier abgehalten, sonst aber direkt auf die Glocken fallen gelassen. An heiteren Tagen wurden die Apparate meist 3 Stunden, an weniger hellen Tagen bis fünf Stunden exponirt, während welcher Zeiten genügende Kohlensäuremengen zersetzt werden, um hinreichende Genauigkeit der Analysen zuzulassen. Zudem mochte ich keine allzu kohlensäurereiche Luft anwenden und bei längerer Expositionszeit hätte im weissen Licht alle Kohlensäure zersetzt sein können, was ohnehin einmal ohne mein Wollen vorkam.

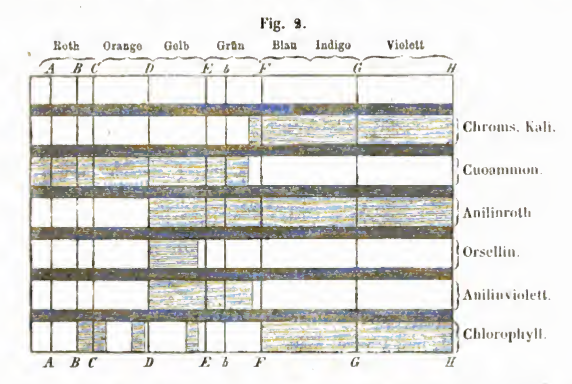
Die meisten Versuche wurden mit Blättern von Prunus laurocerasus, nächstdem mit Oleanderblättern angestellt, vereinzelt auch mit Blättern von Senecio vulgaris, Convallaria latifolia und Tinnantia undata. Immer nahm ich nur ganz lebenskräftige Blätter und zu einem vergleichenden Versuche nur solche, die in Grösse und Farbenton möglichst vollkommen übereinstimmten und im Gewicht um nicht mehr als 5 Centigr. differirten. Nahm auch das Aussuchen solcher Blätter einige Zeit in Anspruch, so dürfte doch die zufriedenstellende Uebereinstimmung in meinen Versuchen zum guten Theil der auf die Auswahl der Blätter gerichteten Sorgfalt zu danken sein.

Die *spektroskopische Prüfung* der farbigen Flüssigkeiten geschah in direkter Sonne und zwar auch in der Glocke selbst, in welcher sie zur Anwendung kamen, indem das Rohr eines Spektroskopes in diese geschoben wurde.[1] Die so erhaltenen Spektra sind unten angegeben und in nebenstehendem Täfelchen übersichtlich zusammengestellt. Es wurde hier der sichtbare Theil des Sonnenspektrums siebenmal untereinander gestellt und bei jeder der bezeichneten Flüssigkeiten der absorbirt werdende Theil der Strahlen verdunkelt. Zur Orientirung sind die bekannteren Frauenhoferschen Linien eingetragen.

[1] Es wurde hierzu das von Sachs (Experimentalphys. p. 7) beschriebene und abgebildete Spektroskop benutzt.

1) Doppeltchromsaures Kali in fast gesättigter Lösung. Roth, Orange und Gelb gehen ungeschwächt hindurch, auch das Grün bis *E b* ist noch

Fig. 2.



ziemlich lichtstark, wird aber von da ab merklich geschwächt und endet etwa in der Mitte zwischen *E b* und *F* ganz, so dass das dem Blau unmittelbar angrenzende Grün absorbirt wird. Photographisches Papier wird hinter dieser Lösung fast gar nicht verändert. [1])

2) Kupferoxydammoniak in ziemlich concentrirter Lösung lässt Blau und die stärker brechbaren Strahlen hindurch, auch das dem Blau unmittelbar angrenzende Grün bis etwa in die Mitte von *E b* und *F*, dieses jedoch mit sehr merklicher Lichtschwächung. Die schwächer brechbaren Strahlen des sichtbaren Sonnenspektrums fehlen, nach Desains [2]) passiren aber wieder viele dunkle Wärmestrahlen. Photographisches Papier schwärzt sich hinter dieser Lösung so schnell wie an der Sonne.

3) Anilinroth (von Marquart in Bonn) in alkoholischer Lösung. Roth und Orange bis zur Natronlinie passiren ohne merkliche Lichtschwächung. Das ganze übrige sichtbare Spektrum fehlt, ebenso die ultravioletten Strahlen, da photographisches Papier auch nach $^1/_4$ Stunde unverändert bleibt.

4) Orsellin, der Farbstoff der Orseille, in Wasser mit ein wenig Ammoniak gelöst. Diese Flüssigkeit absorbirt in der angewandten Concentration alle gelben Strahlen, ausserdem ein wenig Orange und noch weniger Grün. An der Natronlinie beginnt ein ganz scharf abgesetzter dunkler Absorptionsstreifen, der sich über das ganze Gelb erstreckt; das Grün ist bis *E* ein wenig abgeschwächt, weiterhin aber, wie auch die anderen

1) Vgl. Sachs, Bot. Ztg. 1864, p. 358.
2) Compt. rendus 21. Mai 1870.



Strahlen des Spektrums sehr lichtstark. Photographisches Papier schwärzt sich so schnell wie am Sonnenlicht.

5) Anilinviolett, röthlich (von Marquart) in Alkohol gelöst. Das ganze Roth und das Orange bis zur Natronlinie sind sehr lichtstark, an der *D* Linie beginnt aber ein sehr scharf begränzter dunkler Absorptionsstreifen, welcher alle gelben und grünen Strahlen wegnimmt. Gegen das Blau hin ist dieser dunkle Streifen nicht so scharf abgegränzt, da das dem Grün unmittelbar angrenzende Blau bis etwa *F* etwas geschwächt ist; das übrige Blau und die stärker brechbaren Strahlen gehen wieder ohne merkliche Absorption hindurch. Photographisches Papier wird ungefähr ebenso schnell wie am Sonnenlicht verändert.

6) Chlorophylllösung in Alkohol. Diese wurde aus einigemal mit Wasser ausgekochten jüngeren Weinblättern dargestellt. Zu vier Versuchen wurde unentfärbte Lösung angewandt, zu einem eine solche, welche im Sonnenlicht eine bräunliche Farbe anzunehmen begonnen hatte. Beim Verfärben einer Chlorophylllösung durch Sonnenlicht nehmen die Absorptionsstreifen an Breite ab, sonst findet aber keine besonders auffallende Veränderung des Spektrums statt. [1]) Die von mir angewandte verfärbte Chlorophylllösung war durch freiwilliges Verdunsten des Alkohols auf eine solche Concentration gebracht, dass die Breite der Absorptionsstreifen der der grünen Lösung, welche ich anwandte, möglichst entsprach. Mit derselben frischen grünen Lösung wurden jedesmal nur zwei Versuche gemacht und dann eine neue und gleich concentrirte Lösung in die Glocke gefüllt. Nach Beendigung eines Versuches wurde die Glocke jedesmal sofort aus der Sonne entfernt und ins Dunkle gebracht.

Bei der hier benutzten Chlorophylllösung wird die brechbarere Seite des Spektrums ziemlich genau bis *F* weggenommen, nur ganz wenig Blau wird nicht absorbirt. In dem minder brechbaren Theil des Spektrums treten drei Absorptionsstreifen auf, von welchen der im Roth liegende breiteste der charakteristischeste ist und nach Askenasy bei allen alkoholischen und ätherischen Chlorophylllösungen wiederkehrt. [2]) Die beiden anderen schmäleren Streifen in Orange und an der Grenze von Gelb und Grün sollen bei allen höheren Pflanzen wenigstens, nach Askenasy ziemlich genau an derselben Stelle sich wiederfinden. Der Absorptionsstreifen im Gelb erreicht bei meiner Lösung nicht die Linie *E*, der im Orange liegt nahe der Natronlinie. Eine Messung der Ausdehnung der Absorptionsstreifen ergab, dass diese ziemlich genau $^1/_4$ von der Ausdehnung des Spektrums zwischen *A* und *F* einnahmen; die einzelnen Streifen im Roth, Orange und Gelb verhielten sich zu einander

1) Askenasy, Bot. Ztg. 1867, p. 228.

2) L. c., p. 227. — Von anderen Arbeiten vgl. z. B. Harting, in Pogg. Annal. Bd. 96, p. 543 (mit Tafel).

wie 8 : 4 : 5.[1]) Auch das hindurchgehende Grün, Gelb und Orange sind stark geschwächt und verschwinden bei stärkerer Concentration einer Chlorophylllösung gänzlich, so dass endlich nur das äusserste Roth passirt. Photographisches Papier wurde hinter meiner Lösung nur wenig afficirt.

7) Lösung von Jod in Schwefelkohlenstoff in solcher Concentration, dass auch nicht die geringste Lichtempfindung wahrzunehmen ist, wenn die Glocke so über das Auge gedrückt ist, dass kein seitliches Licht mehr Zutritt hat. Mehr Jod, als gerade nöthig um alle leuchtenden Strahlen der Sonne wegzunehmen, wurde übrigens nicht aufgelöst, da bei einem grossen Ueberschusse nach TYNDALL[2]) auch dunkle Wärmestrahlen in erheblicher Menge absorbirt werden würden. Nach TYNDALL gehen durch eine solche Lösung, wenn dieselbe zwischen Steinsalzplatten eingeschlossen ist 80 bis 90 Procent von der totalen Strahlung einer dunklen Wärmequelle. Für Glasgefässe stellt sich das Verhältniss nicht so günstig, da diese namentlich die Wärmestrahlen grösster Wellenlänge in erheblicher Menge absorbiren.[3]) Da nach MELLONI durch eine zwischen Glaswänden befindliche 9,21 Mm. dicke Schicht von Schwefelkohlenstoff 63 Procent der totalen Strahlung einer Argandschen Lampe dringen und nach TYNDALL Jod für dunkle Wärme so gut wie völlig diatherman ist, so wird durch obige Zahl auch annährend die Durchlässigkeit nach Auflösen von Jod im Schwefelkohlenstoff bezeichnet.[4]) Wasser lässt nach MELLONI nur 10, Alkohol nur 15 Procent der totalen Strahlung einer Argandschen Lampe hindurch, wenn es in gleichdicker Schicht wie oben für Schwefelkohlenstoff angegeben, angewandt wird und zwischen Glaswänden befindlich ist. Wie durch die Jodlösung, auch wenn sie zwischen Glaswänden eingeschlossen ist, noch sehr viel dunkle Wärme passirt, zeigen auch TYNDALL's Versuche, bei welchen in dem Focus eines Metallspiegels auch dann noch Platinblech erglühte, Magnesiumdraht verbrannte u. s. w., wenn die Strahlen vor ihrer Vereinigung ein mit Lösung von Jod in Schwefelkohlenstoff gefülltes Gefäss durchdringen mussten. (Als Wärmequelle wurde meist elektrisches Licht verwandt.)

---

1) Meine Lösung entspricht so ziemlich der Concentration, welche bei ASKENASY (l. c.) durch die mit *f* bezeichnete Curve auf Taf. V, Fig. 1 angegeben ist. Meine Messungen wurden mit einem grossen Steinheilschen Instrument ausgeführt.

2) Die Wärme betrachtet als eine Art der Bewegung, deutsch von H. HELMHOLTZ und G. WIEDEMANN 1867, p. 373, p. 517 u. besonders der Anhang zum XII. Capitel. Hieraus sind ausser anderen Citaten auch MELLONI's Versuche entnommen.

3) Nach MASSON u. JAMIN gehen durch weisses Glas folgende Wärmemengen des ultrarothen Theiles des Sonnenspektrums: von der Gruppe $0_7 = 0,88$; von der Gruppe $0_4 = 0,22$; von der Gruppe $0_2 = 0,00$. Weiteres in WÜLLNER's Experimentalphysik, II, 1, p. 335.

4) Nicht genau, weil eine ARGAND'sche Lampe auch leuchtende Wärmestrahlen liefert.

Temperatur. Schon den älteren Experimentatoren war es bekannt, dass bei zu geringer Temperatur Kohlensäure, auch unter dem Einflusse genügenden Lichtes, von grünen Pflanzentheilen nicht zersetzt wird. Nach den Erfahrungen über Keimen, Ergrünen, Reizbarkeit gewisser Organe u. s. w. ist es kaum zweifelhaft, dass auch die Assimilation nur zwischen einem gewissen, voraussichtlich für verschiedene Pflanzen specifischen Minimum und Maximum der Temperatur möglich sein und dass ein Optimum zwischen diesen beiden Extremen sich finden wird, doch sind keine entscheidenden Versuche in dieser Richtung bis jetzt gemacht worden. Als Cloez und Gratiolet[1]) Wasserpflanzen in 4 C. warmes Wasser brachten, fand auch in direkter Sonne keine Gasausscheidung statt, die erst begann, als die Temperatur auf 15 C. gestiegen war und fortwährend lebhafter wurde, während das Wasser sich auf 30 C. erwärmte. Wurde jetzt wieder abgekühlt, so hörte die Gasausscheidung erst auf, als das Thermometer 10 C. Wassertemperatur anzeigte. Ob hier bei 30 C. das Optimum der Gasausscheidung erreicht war, wie die genannten Autoren vermuthen, ist aus ihren Versuchen nicht zu entnehmen; überhaupt lassen sich zur Entscheidung dieser Frage Wasserpflanzen, der mit der Temperatur sich ändernden Absorptionscoefficienten und Ausdehnung der Gase halber, nicht wohl verwenden.

Meine Absicht war es nicht die Abhängigkeit der Assimilation von der Temperatur zu untersuchen, was zudem gleichzeitig bei meinen Versuchen nicht wohl auszuführen war und beschränkte ich mich desshalb die in den mit verschiedenfarbigen Medien gefüllten Glocken herrschenden Temperaturen zu bestimmen. Es geschah dieses mit in $^1/_{10}$ C. getheilten, unter sich übereinstimmenden Thermometeren, deren cylindrische Quecksilbergefässe berusst waren, indem diese in die der direkten Sonne ausgesetzten umgekehrten Glocken geführt wurden. Jedesmal wurde eine mit Wasser und ein oder zwei mit farbigen Medien gefüllte Glocken gleichzeitig vorgenommen und erst nachdem diese bereits einige Stunden lang der Sonne ausgesetzt worden waren, begann die Ablesung der Thermometer. Das Mittel ist dann immer aus je 9 Temperaturbeobachtungen, während welcher die drei Thermometer dreimal gewechselt wurden, für jedes Medium gezogen. Für die verschiedenfarbigen Flüssigkeiten wurden die vergleichenden Temperaturbestimmungen nicht an denselben, immer aber an sehr hellen Tagen vorgenommen, an welchen Temperaturen zwischen 27 und 38 C. notirt wurden. Da also die beobachteten Thermometerstände nicht ohne weiteres unter sich vergleichbar sind, so beschränke ich mich darauf in dem folgenden Täfelchen die Werthe zusammenzustellen, welche sich aus den gefundenen Mittelzahlen ergeben, wenn einmal die hinter einer mit Wasser gefüllten Glocke

1) Annal. d. Chim. et de Phys. 3 sér, tom. 32, 1851, p. 53. — Faconpret's Versuche, in denen sogar eine Formel zur Berechnung der bei verschiedener Temperatur u. s. w. zersetzt werdenden Kohlensäure aufgestellt wird, übergehe ich. Dieselben finden sich in Cmpt. rendus, 1864, T. 58, p. 334 ff.

beobachtete Temperatur gleich 100, das anderemal die an einem frei in der Sonne hängenden Thermometer beobachtete Temperatur gleich 100 gesetzt wird. Letzteres geschah, weil ich bei der Ausführung der Versuche immer die Temperaturen an einem frei in der Luft hängenden Thermometer beobachtete.

Flüssigkeiten mit welchen die Glocken gefüllt waren, (Ausgen. 1. Horizontalreihe).	Die Temperatur in der mit Wasser gefüllten Glocke = 100 gesetzt.	Die Temperatur an einem frei hängenden Thermometer = 100 gesetzt.
Frei hängendes Thermometer	95,40	100,00
Wasser	100,00	104,82
Chrs. Kali	102,83	107,79
Cuoammon	103,32	108,30
Anilinroth	104,48	109,52
Orsellin	101,34	106,22
Anilinviolett	101,34	106,22
Chlorophyll	101,17	106,05
Jodlösung	96,39	101,04

Die Temperaturschwankungen unter den mit verschiedenen Medien gefüllten Glocken, welche ja allein bei meinen vergleichenden Untersuchungen in Betracht kommen, betragen also im höchsten Falle $4\frac{1}{2}$ Procent, was bei den faktisch beobachteten Temperaturen höchstens $1\frac{1}{2}$ C. als Differenz ergibt. Da beim Keimen u. a. solche Schwankungen nur wenig ausmachen, wenn es sich um Temperaturen, die in der Nähe des Optimums liegen, handelt, so ist ein Gleiches auch für die Assimilation zu erwarten. Die bei den Versuchen herrschende Wärme war ja aber immer eine sehr beträchtliche, die möglicherweise zuweilen selbst das Optimum überschreiten konnte, gewiss wenigstens immer das jedenfalls ziemlich tief liegende Minimum um Vieles übertraf. Wenn nun auch vielleicht die Temperaturdifferenzen einigen Einfluss auf die Menge der zersetzten Kohlensäure haben konnten, so war dieser doch jedenfalls nur gering und verschwand in den Mittelzahlen theilweise oder ganz, da ja an den verschiedenen Versuchstagen die Temperaturen für dasselbe Medium ungleich hohe waren, vielleicht sogar einmal über, ein anderesmal unter dem Optimum lagen.

An ungleich hellen Tagen dürften die relativen Temperaturen für gleiche Medien wohl etwas verschieden ausfallen und vermuthlich stellen sich die Differenzen an weniger heiteren Tagen etwas geringer, als in den oben zusammengestellten Werthen heraus, welche nach Beobachtungen an direkter Sonne berechnet wurden. Ich habe wohl nicht nöthig daran zu erinneren, dass die Thermometerablesungen die Temperatur eines Blattes nicht angeben; diese ist selbst im dampfgesättigten Raum nach einigen Beobachtungen geringer, als die Temperatur welche geschwärzte Thermometer in demselben Raume anzeigen.

Man sieht, dass in der mit Wasser gefüllten Glocke die Temperatur höher als an einem freihängenden Thermometer ist. Dies kann aber nicht auffallend sein, denn bei der Glocke fallen ja die Strahlen auf eine cylindrische Fläche und werden zum grossen Theil gebrochen und in das Innere der Glocke gelenkt, wobei freilich beim Passiren des Wassers sehr viele dunkle Wärmestrahlen absorbirt werden. Die Temperaturen wurden ja aber immer erst abgelesen nachdem die Glocken längere Zeit an der Sonne gestanden, das Wasser sich also stark erwärmt hatte und nun wurde natürlich von den Glaswänden, respektive dem Wasser, Wärme in das Innere der Glocke gestrahlt und vermittelst Leitung durch die Luft dem Thermometer mitgetheilt. Ferner dürfte auch die von dem cylindrischen, berussten Quecksilbergefäss ausgestrahlte Wärme in Betracht zu ziehen sein, welche für ein freihängendes Thermometer verloren geht, an dem in die Glocke gesenkten aber nicht, da sie entweder von dem Glas oder Wasser absorbirt oder reflektirt wird und also dann zu dem Quecksilbergefäss zurückgelangt, wenn sich dieses in der Mitte der cylindrischen Glocke befindet. Die farbigen Medien absorbiren aber auch mehr oder weniger viel von der leuchtenden Wärme und wenn desshalb auch weniger Wärmestrahlen der Sonne direkt hindurchgehen, so wird doch voraussichtlich die Temperatur der Flüssigkeit sich erhöhen und eine Vermehrung der geleiteten und ausgestrahlten Wärme das Thermometer höher steigen machen. So dürfte sich die höhere Temperatur in den farbigen Glocken erklären und auch die Jodlösung bildet keinen Widerspruch. Diese absorbirt alle leuchtende, aber nur einen geringen Theil der dunklen Wärme und da letztere etwa das doppelte von der leuchtenden Wärme im Sonnenspektrum ausmacht, so wird sich die Temperatur der Flüssigkeit wohl niederer stellen, weniger Wärme also durch Leitung und Strahlung von dieser aus dem Thermometer zugeführt werden. Auf diese Andeutungen der wahrscheinlichen Ursachen, welche zu den hinter verschiedenen Medien ungleich hohen Temperaturen Veranlassung geben, kann ich mich hier beschränken, ausführliche Untersuchungen über diesen Punkt, die auch die Wärmecapacität in Rechnung zu ziehen hätten, gehören nicht hierher und sind zudem Sache eines Physikers. So ganz einfach ist der behandelte Gegenstand übrigens nicht, da z. B., wie Desains[1] zeigte, durch Kupferoxydammoniak ziemlich viel dunkle Wärme dringt; dies ist vielleicht auch die Ursache wesshalb in der mit dieser Flüssigkeit gefüllten Glocke die Temperatur geringer als für Anilinroth gefunden wurde, welches doch ungleich weniger leuchtende Wärme absorbirt.

1) Compt. rendus 1870, Sitz. vom 2. Mai.

Die Vermehrung organischer Substanz im Pflanzenreich, in der Natur überhaupt, ist ausschliesslich an die Anwesenheit des Chlorophylls gebunden,[1]) denn nur dieses vermag unter dem Einfluss des Lichtes aus den Elementen der Kohlensäure und des Wassers unter Abscheidung von Sauerstoff organische Verbindungen zu erzeugen. Die letzten Zweifel, welche Th. de Saussure in dieser Beziehung noch hegen konnte, gegründet auf das auch von Corenwinder bestätigte Factum, dass gewisse rothgefärbte Blätter auch Kohlensäure zersetzen, fallen mit dem von Cloez[2]) gelieferten Nachweis, dass dies nur der Anwesenheit des Chlorophylls in den fraglichen Blättern zuzuschreiben ist. In welcher Weise nun das Chlorophyll thätig ist, um so resistente Verbindungen wie Kohlensäure und Wasser zu zerreisen und in neuer Weise die Atome von deren Elementen zu gruppiren, ist zur Zeit völlig dunkel; das aber ist gewiss, dass Assimilation[3]) nur unter Mitwirkung des Lichtes möglich ist. Aus den vorhin behandelten Arbeiten ist bereits bekannt, dass besonders die minder brechbaren Strahlen des sichtbaren Spektrums die Zersetzung der Kohlensäure einzuleiten, die stärker brechbaren Strahlen hingegen nur sehr wenig zu leisten vermögen. Auch wurde bereits von einigen Autoren die Wirkung einzelner Spektralfarben auf die Assimilation zu bestimmen gesucht, ohne dass indess, wie die Kritik der einschlägigen Arbeiten zeigte, genügend zuverlässige Werthe gewonnen wurden. Dies habe ich durch meine Untersuchung zu erreichen und zugleich eine von meinen Vorgängern noch nicht berührte Frage zu beantworten gesucht, ob nämlich die Spektralfarben in ihrer Vereinigung im gemischten Licht mehr bei der Assimilation zu leisten vermögen, als wenn sie getrennt zur Einwirkung kommen. Ehe ich jedoch an die Behandlung dieser Hauptfragen gehe, wende ich mich zuvor zu einigen anderen Resultaten, die entweder beiläufig bei der Ausführung der Versuche gewonnen wurden, oder deren Kenntniss möglicher Fehlerquellen halber nothwendig war.

Assimilationsversuche mit an Kohlensäure ärmerer und reicherer Luft.

Die Landpflanzen nehmen wohl gewiss den grössten Theil der bei der Assimilation verbraucht werdenden Kohlensäure aus der Luft, sicher wenigstens ist, dass sie ganz allein aus dieser Quelle ihren Bedarf zu decken vermögen.[4]) So dünn auch die Kohlensäure in dem Luftmedium gesäet ist, — es enthält 0,0004 — 0,0005 dieses Gases dem Volumen nach — so ist

1) Ausführliches darüber bei Sachs, Experimtphys. § 37 u. § 88.

2) Cloez in Cmpt. rendus 1863, p. 834. — Es gilt gleiches auch für die Farbstoffe der Algen; Rosanoff in Cmpt. rendus 1866, 9. April.

3) Ich gebrauche diesen Ausdruck in dem engeren Sinne wie Sachs Experimtphys., p. 18, Anmerk. 2 und Lehrb. II. Aufl. § 6.

4) Sachs, Experimentphys., p. 127.

doch zur Zeit keine Thatsache bekannt, welche dazu nöthigte, dem Chlorophyll eine besondere attractive oder condensirende Wirkung auf die Molecüle dieses Gases zuzuschreiben.[1] So lange das aber nicht der Fall ist, ist es gerechtfertigt, sich an die gewöhnlichen Diffusionsgesetze zu halten und nur in der Summirung eines Prozesses das Geheimniss zu suchen, vermöge welchem solche kolossale Kohlensäuremengen dem Chlorophyll zugeführt werden, die nöthig sind, um so erhebliche Quanta organischer Substanz zu bilden, von welcher das Trockengewicht ja selbst nur den zur Athmung nicht verbrauchten Theil repräsentirt.[2]

Ob eine Pflanze in kohlensäurereicherer Atmosphäre energischer zu assimiliren vermag, als in atmosphärischer Luft, ist bisher noch nicht untersucht. Diese Frage hat ein hohes Interesse, namentlich auch für die Paläontologie, lässt sich aber definitiv nicht wohl anders entscheiden, als durch Vergleich der Assimilationsthätigkeit in gewöhnlicher und einer nur wenig mehr Kohlensäure enthaltender Luft. Eine solche Untersuchung ist mit den von mir angewandten Apparaten unmöglich; die Frage in dieser Form berührt auch meine Versuche nicht, für die ich indess wissen musste, ob gleiche Mengen Kohlensäure zersetzt werden, gleichviel ob der Luft etwa

---

1) Versuche welche ich in dieser Richtung anstellte, scheiterten an unvorhergesehenen Umständen. Meine Absicht war aus einer grösseren Anzahl von Blättern alle eingeschlossenen Gase durch reines Wasserstoffgas zu verdrängen, nun das Volumen des Gases im Apparate zu bestimmen und den Zutritt bekannter Mengen reiner Kohlensäure zu gestatten. Die Apparate, deren Beschreibung keinen Werth hat, erlaubten eine Volumenänderung von $^1/_{20}$ Cub. C. mit aller Genauigkeit abzulesen. Die Entfernung einer jeden nachweisbaren Menge von Sauerstoff und Kohlensäure aus den Blättern gelang zwar unter geeigneten Vorsichtsmassregeln im Laufe von etwa 12 Stunden, aber wenn jetzt die Blätter in reinem Wasserstoffgas stehen blieben, so machte sich schon nach einer Stunde eine geringe Zunahme des Gasvolumens bemerkbar, die sich bei Anwendung von etwa 30 Grmm. Hollunderblättern im Laufe von 12 Stunden bis zu 6 C. C. steigerte. Ein Durchleiten durch Barytwasser zeigte, dass eine sehr grosse Menge von Kohlensäure jetzt im Apparate vorhanden war. Als nun wieder durch reines Wasserstoffgas alle Kohlensäure verdrängt worden war, hatte nach 12 Stunden das Gasvolumen von Neuem in etwa gleichem Maasse zugenommen und wieder zeigte Barytwasser Kohlensäure in Menge an; ebenso als das Verdrängen der Kohlensäure durch Wasserstoffgas zum drittenmale vorgenommen worden war. Ob die ganze Volumenzunahme auf Kohlensäure fiel, habe ich nicht zu bestimmen gesucht, doch waren jedenfalls die Mengen gebildeter Kohlensäure so erheblich, dass dieses wohl möglich ist. Bei der Art und Weise der Ausführung der Versuche kann die Kohlensäurebildung nur durch Zerfallen organischer Verbindungen, in Kohlensäure und sauerstoffärmere Verbindungen möglich sein, bezeichnet also vielleicht schon einen Verwesungsprozess. Dabei ist aber bemerkenswerth, dass nach 24 Stunden wenigstens, wie mich ein Versuch belehrte, die in Wasserstoff aufbewahrten Blätter noch ansehnliche Kohlensäuremengen am Lichte zu zersetzen vermögen, eine Fähigkeit die nach 36 Stunden auf ein Minimum reduzirt ist. (Ueber die Asphyxie der Blätter vgl. Boussingault Cmpt. rendus 1865, p. 610 ff). — Mit Blättern von Prunus laurocerasus wurden ganz ähnliche Resultate, wie mit Blättern von Sambucus nigra gewonnen.

2) Vgl. Sachs, Lehrbuch, 2. Aufl. p. 581.

1 oder 12 Procent dieses Gases beigemengt sind. Denn wenn auch ursprünglich in jedes Versuchsrohr gleiche Quantitäten von Kohlensäure dosirt waren, so wurden doch unter verschiedenen Expositionsbedingungen ungleiche Mengen zersetzt und wenn die Energie der Assimilation mit Zu- oder Abnahme des Kohlensäuregehaltes der Luft sich änderte, so war in allen Fällen eine Fehlerquelle für vergleichende Untersuchungen gegeben, gleichviel ob mit sinkendem Kohlensäuregehalt mehr oder weniger Gas zersetzt wurde.

Auch für die zuletzt gestellte Frage fehlen sichere Angaben, wenn man von einer allgemein gehaltenen Aeusserung Saussure's, dass eine 8 Procent Kohlensäure enthaltende Luft für die Assimilation besonders opportum sei, absieht. Durch Boussingault [1]) wissen wir nur, dass in reiner Kohlensäure der Zersetzungsprozess sehr gehemmt wird und dass die Kohlensäure um eine kräftige Assimilation zu gestatten, mit irgend einem indifferenten Gase gemengt sein muss. Aber Boussingault nahm hier mit 30 Procent und mehr Kohlensäure gemengte Luft, oder auch an Stelle dieser letzteren ein anderes Gas, ohne die Möglichkeit ins Auge zu fassen, dass mit weiter sinkendem Kohlensäuregehalt der Zersetzungsprozess noch lebhafter werden könne; eine Frage, die zu beantworten auch gar nicht in der Absicht dieses trefflichen Experimentators lag.

Die wenigen umstehenden Versuche sind für unsere speciellen Zwecke wenigstens ausreichend. Wir sehen bei dem zweiten Versuche zweimal zufällig ganz gleiche Mengen Kohlensäure zersetzt, obgleich das einemal die Luft mit 10,2, das andermal mit 18,7 Procent jenes Gases gemengt war. Auch bei 39 Procent Kohlensäuregehalt finden wir in den beiden Versuchen fast gleiche Mengen Kohlensäure, wie bei einem an diesem Gase ärmeren Gemische zerlegt. Die ein wenig schwächere Assimilationsthätigkeit, welche freilich beide Versuche übereinstimmend zeigen, erlaubt auf diese allein hin noch keinen Schluss, doch wäre es ja möglich, dass in so kohlensäurereicher Atmosphäre die Zersetzungskraft eines Blattes bereits ein wenig vermindert wird.

I. Versuch, 3. August.

Blätter von Prunus laurocerasus von 17 C. Q. Fläche und 0,7 C. C. Volumen wurden zwei Stunden lang exponirt.

Vor Exposition.		Nach Exposition.	
G. Vol. = CO^2 + Luft. C. C.	Kohlensäuregehalt in %. C. C.	G. Vol. = CO^2 + Luft. C. C.	Vom 17 C. Q. in 2 Std. zersetzte CO^2. C. C.
71,59 = 6,26 + 65,33	8,74	71,31 = 2,80 + 68,51	3,46
68,77 = 27,00 + 41,77	39,26	68,69 = 23,89 + 44,80	3,11

1) Compt. rendus, 1865, T. 60, p. 879; Agronomie, Chimie agricole et Physiologie Bd. IV, 1868, p. 269 ff.

II. Versuch, 4. August.

Mit Blättern von Prunus laurocerasus à 18 C. Q. Fläche und 0,9 C. C. Volumen, die 2 Stunden lang exponirt wurden.

Vor Exposition.		Nach Exposition.	
G. Vol. = CO^2 + Luft. C. C.	Kohlensäuregehalt in %.	G. Vol. = CO^2 + Luft. C. C.	Von 18 C. Q. in 2 St. zersetzte CO^2. C. C.
71,50 = 7,28 + 64,22	10,18	71,49 = 3,98 + 67,51	3,30
71,50 = 13,39 + 58,11	18,72	71,54 = 10,09 + 61,45	3,30
68,31 = 26,51 + 41,80	38,81	68,32 = 23,34 + 44,98	3,17

Beide Versuche wurden an ganz sonnigen Tagen vorgenommen und der Zutritt der direkten Sonnenstrahlen zu den Apparaten durch transparente Papierschirme abgehalten. Die Beschränkung der Expositionszeit geschah, um die Veränderung in der Zusammensetzung des Gasgemisches so gering als möglich zu machen.

Die tabellarische Zusammenstellung ist ähnlich, wie bei allen weiterhin aufzuführenden Versuchen gemacht. In der ersten Rubrik steht das Gesammtvolumen des kohlensäurehaltigen Luftgemisches und dessen Zusammensetzung aus Kohlensäure und Luft (G. Vol. = CO^2 + Luft) vor der Exposition, welches wie bei allen anderen Angaben auf 0°, 1 Meter Druck und Zustand der Trockenheit reduzirt wurde. Das nach der Exposition gefundene Gesammtvolumen und dessen Gehalt an Kohlensäure und Luft ist in gleicher Weise in der zweiten Rubrik zusammengestellt und in der letzten Vertikalreihe steht die zersetzte Kohlensäuremenge, wie alle früheren und späteren gasometrischen Angaben in Cub. C. ausgedrückt. Art und Weise der Berechnung sind im methodologischen Theile angegeben.

Das Gasvolumen vor und nach der Exposition.

Wie aus den am Schlusse dieser Arbeit mitgetheilten Versuchen zu ersehen ist, hat das Volumen des Gasgemenges, in welchem die Blätter assimilirten, nach der Exposition bald um ein Geringes ab–, bald um ein Geringes zugenommen. Das Maximum der Volumenvermehrung wurde zu 0,33 C. C. (4. Versuch), der Volumenabnahme zu 0,56 C. C. (3. Versuch) gefunden und als Mittel von 27 Versuchen mit zusammen 97 Analysen ergibt sich eine Volumenabnahme von 0,096 C. C., ein so geringer Werth, dass also im Durchschnitt das Volumen als invariabel angesehen werden kann. Hiermit stimmen auch SAUSSURE's[1]) und BOUSSINGAULT's[2]) Versuche

1) Récherches chimiques übers. von VOIGT 1805, p. 51 ff.

2) Verschiedene Publikation in Cmpt. rendus 1865 u. 1866. Agronomie, Chimie agricole et Physiologie, Bd. IV, 1868, p. 267 ff.

überein, welche indess doch erheblichere Schwankungen als bei meinen Versuchen gefunden wurden, aufweisen. So wurden von BOUSSINGAULT Volumenänderungen bis zu 2 C. C. bei einer grossen Anzahl von Experimenten beobachtet, bei welchen das gesammte Volumen des Gasgemenges, in welchem exponirt wurde, ziemlich gleich gross wie bei meinen Versuchen war, [1]) freilich aber meist 20 C. C. und mehr, also dreimal so viel Kohlensäure als bei mir im höchsten Falle, von einem Blatte zersetzt wurde.

Volumenänderungen bis zu 0,56 C. C., wie ich sie beobachtete, sind entschieden zu gross, um als Versuchsfehler angesprochen zu werden und können nur darin ihren Grund haben, dass für die zersetzte Kohlensäure nicht immer ein gleichgrosses Gasvolumen ausgegeben wird. Nach SAUSSURE (l. c.) wird bei der Assimilation für die zerlegte Kohlensäure ein geringeres als gleiches Maass Sauerstoffgas gebildet und die Volumengleichheit durch eine entsprechende Menge von den Pflanzentheilen exhalirten Stickgases herbeigeführt. Dieses Resultat dürfte indess irrig sein und ist vielleicht in einem Fehler des analytischen Theiles der Experimente begründet, denn BOUSSINGAULT [2]) fand bei seinen mit vervollkommneten Apparaten und Methoden angestellten Versuchen für die zersetzte Kohlensäure immer ein annährend, wenn auch nicht vollkommen gleiches Volumen Sauerstoffgas, bei sowohl in Wasser als in Gasgemengen assimilirenden Pflanzen gebildet. Aus den von BOUSSINGAULT angestellten Experimenten geht auch hervor, dass bei der Assimilation Stickgas durch Zerfallen organischer Verbindungen nicht entsteht, wie dies ausser SAUSSURE u. a. auch CLOEZ und GRATIOLET [3]) in neuerer Zeit zu beweisen suchten. Hingegen bildet sich nach BOUSSINGAULT [4]) bei der Kohlensäurezersetzung etwas Kohlenoxydgas mit Spuren von Kohlenwasserstoffgas, was von diesem Autor auch gegenüber den negirenden Versuchen von CLOEZ [5]) für unter Wasser assimilirende Pflanzentheile festgehalten wurde. Indess dürfte die Quelle dieses Kohlenoxydgases in der von BOUSSINGAULT befolgten analytischen Methode selbst zu suchen sein, die darin bestand, dass der Sauerstoff mit pyrogallussaurem Kali absorbirt und das zurückbleibende Gas durch Verpuffen mit Wasserstoff weiter analysirt wurde. Bei der Absorption des Sauerstoffs durch pyrogallussaures Kali wird aber nach einer freundlichen Mittheilung des Herrn Professor CARIUS in

---

1) Es erscheint bei BOUSSINGAULT allein desshalb grösser, weil dieser nur auf 0,76 Meter Quecksilberdruck reduzirte.

2) Agronomie, Ch. agricole etc. Bd. 3, 1864, p. 266 ff. u. Bd. 4, 1868, p. 267 ff.

3) Annal. d. Chim. et d. Phys. 1851, p. 59. Die Versuche dieser Forscher sind übrigens nicht entscheidend, eben so wenig aber die den atmosphärischen Ursprung von Stickstoff beweisen sollenden von UNGER, Sitzb. d. k. k. Akad. zu Wien, 1853, p. 414.

4) Agronomie etc. 1864, Bd. III, p. 382 ff. u. Cmpt. rendus 1863, T. 57, p. 354 ff. u. p. 410 ff.

5) Annal. d. Chim. et d. Phys. 1862 u. Cmpt. rendus 1863 p. 354. — Zu gleichem negativen Resultat kam auch COKENWINDER, Cmpt. rendus 1865, p. 102.

Marburg, immer etwas Kohlenoxydgas gebildet, besonders wenn die zu analysirenden Gasgemenge reicher an Sauerstoff als an atmosphärischer Luft sind, was auch bei BOUSSINGAULTS Experimenten nach Absorption der Kohlensäure der Fall war.

Die Frage, ob immer für die zersetzte Kohlensäure ein annährend gleiches Volumen Sauerstoff ausgegeben wird, ist indess noch nicht als ganz erledigt zu betrachten. Es ist bis dahin noch nicht darauf Rücksicht genommen, dass bei gewissen Pflanzen auch andere Stoffe als Kohlenhydrate, wenn auch nicht unmittelbare, so doch nächste Produkte der Assimilation möglicherweise sein können. Sollten dieselben aber ärmer an Sauerstoff als an Kohlenhydrate sein, wie z. B. Oel, welches ja nach NÄGELI in den Chlorophyllkörnern von Cereus variabilis und Rhipsalis funalis [1]) vorkommt, so würde für die bei der Assimilation zerlegte Kohlensäure nicht ein gleiches, sondern ein grösseres Volumen von Sauerstoffgas gebildet werden müssen, wenn nicht das Plus von Sauerstoff in anderer Weise verwendet wird, was indess nach der Constanz des Volumens in den Fällen wo Kohlenhydrate sich bilden, nicht gerade wahrscheinlich ist. Es wäre dieses dann der umgekehrte Fall als beim Keimen fetthaltiger Samen, die, wie SAUSSURE [2]) zuerst zeigte, viel grössere Volumina von Sauerstoff aufnehmen, als Kohlensäure ausgeben; hier wird das als Reservestoff aufgespeicherte Fett in sauerstoffreichere Verbindungen verwandelt.

In dem umstehenden Täfelchen sind die bei verschiedenen Expositionsbedingungen für die Volumenänderung sich ergebenden Mittelwerthe in der letzten Vertikalreihe zusammengestellt. In der ersten Columne sind die Medien unter welchen exponirt wurde aufgeführt und zwar rangiren dieselben in jeder der drei Versuchsreihen nach der Energie mit welcher Kohlensäure hinter ihnen zersetzt, respektive gebildet wurde; die zweite Vertikalreihe nennt die Zahl der Analysen aus welchen das Mittel gezogen wurde.

Wie man hier sieht nehmen in jeder der Versuchsreihen die Volumendifferenzen mit nachlassender Assimilationsthätigkeit zu, doch lassen sich Schlüsse auf diese Zahlen nicht bauen und verzichte ich desshalb ganz darauf, die möglichen, in den Absorptionsverhältnissen begründeten Ursachen auseinanderzusetzen. Es differiren für die Medien hinter welchen assimilirt wurde, Kupferoxydammoniak ausgenommen, die Mittelzahlen in jeder der Reihen um weniger als 0,05 C. C., eine Gasmenge, welche in meinen Versuchsröhren sich gar nicht ablesen lässt. Wenn es sich aber um so geringe Gasmengen handelt, sind auch die Volumenschwankungen aus denen die obigen Mittelwerthe gezogen wurden, viel zu gross und auch die Volumendifferenzen, welche in jeder der 3 Versuchsreihen für die im gemischten

1) Vgl. SACHS, Physiologie, p. 325.
2) Vgl. SACHS, Physiologie, p. 270.

	Medium unter welchem exponirt wurde.	Zahl der Analysen.	Abnahme (—) oder Zunahme (+) des Volumens nach Expos.
I. Versuchsreihe	Wasser . . .	10	— 0,015
	Chrs. Kali . .	10	— 0,019
	Cuoammon . .	11	— 0,172
	Dunkel *) . . .	4	— 0,237
II. Versuchsreihe	Wasser . . .	12	— 0,099
	Orsellin . . .	12	— 0,113
	Anilinviolett . .	12	— 0,100
	Anilinroth . .	12	— 0,138
III. Versuchsreihe	Wasser . . .	5	+ 0,016
	Chlorophyll . .	5	— 0,026
	Jodlösung *) . .	4	— 0,057

*) Bei diesen Versuchen im Dunkeln und den gleichbedeutenden hinter Jodlösung wurde Kohlensäure gebildet.

Licht, hinter Wasser, angestellten Experimente sich ergeben, zeigen, dass die zunehmende Volumenabnahme mit sinkender Assimilationsthätigkeit, wie sie sich in obigen Zahlen herausstellt, eben so gut ein zufälliges Zusammentreffen sein kann.

Die zersetzten Kohlensäuremengen.

Die Energie der Assimilation ist auch für dieselbe Pflanze an verschiedenen Tagen eine ungleiche. So ergeben sich z. B. für das weisse Licht im Mittel aus 15 Versuchen 6,22 C. C. Kohlensäure, die von einem Kirschlorbeerblatt von 100 C. Q. Fläche in einer Stunde zersetzt worden wären; als Minimum wurden hier 4,27 C. C. (11. Versuch) und als Maximum 8,99 C. C. (26. Versuch) gefunden. Die Assimilationsthätigkeit eines Oleanderblattes ist im Allgemeinen eine lebhaftere; als Mittel aus 7 Versuchen wurden für gleiche Blattfläche und Expositionsdauer wie oben 8,46 C. C., als Minimum 6,47 C. C. (8. Versuch) und als Maximum 11,79 C. C. (18. Versuch) zersetzter Kohlensäure berechnet. Zwar habe ich keine vergleichenden Versuche über die Zersetzungskraft der Blätter von Prunus laurocerasus und Nerium Oleander angestellt, aber mit beiden wurde sowohl an ganz heiteren als minder hellen Tagen experimentirt. Auch ist es ja bereits durch andere Forscher bekannt, dass Blätter verschiedener Pflanzen unter gleichen Bedingungen ungleiche Mengen Kohlensäure zersetzen. Dieses gilt übrigens auch für ungleichalterige Blätter derselben Pflanze; namentlich wissen wir durch Corenwinder, [1]) dass noch in Entfaltung begriffene Blätter zuerst nur athmen und allmälich erst zu assimiliren beginnen. Bei lebhaft

1) Cmpt. rendus 1866, T. 62, p. 342.

vegetirenden und ausserdem auch möglichst gleichartiger Blätter derselben Pflanze machen sich meist nur kleinere indivuelle Unterschiede in der Assimilationsthätigkeit geltend und im Allgemeinen ist die zersetzte Kohlensäuremenge den Blattflächen proportional. Dieser bereits von SAUSSURE ausgesprochene, von BOUSSINGAULT[1]) in neuerer Zeit durch Experimente belegte Satz, ist natürlich nicht im streng mathematischen Sinne aufzufassen, doch liegt in ihm die Berechtigung, die von verschieden grossen Blättern gleicher Pflanzen zersetzten Kohlensäuremengen des Vergleichens halber auf eine als Einheit angenommene Blattfläche zu berechnen.

Schon den älteren Autoren war es bekannt, dass die Kohlensäurezersetzung bei einem gewissen Minimum der Beleuchtung aufhört und weiter hat unsere Kenntniss über die Abhängigkeit der Assimilation von der Helligkeit auch bis jetzt eigentlich noch nicht gedeihen können, da der Mangel einer brauchbaren photometrischen Methode hemmend in den Weg tritt. Nach A. v. WOLKOFF[2]) soll die Ausscheidung der Gase aus Wasserpflanzen direkt proportional der Lichtintensität sein; die Gasausscheidung fasst aber WOLKOFF als einen der Assimilationsenergie ganz proportional zu- oder abnehmenden Prozess auf. Die Versuche dieses Autors schliessen aber durchaus nicht aus, dass es ein Optimum der Beleuchtung gibt, wie es bereits für die Bewegungserscheinungen von Chlamidomonas, Euglena und Oscillatorien und für das Ergrünen höherer Pflanzen durch FAMNITZIN[3]) bekannt ist, dass Licht mittlerer Intensität am energischsten wirkt. Eines aber geht freilich aus WOLKOFF's Versuchen hervor, dass nämlich das Optimum der Helligkeit, wenn ein solches für die Assimilation wirklich existirt, sehr hoch liegen muss und selbst nicht an sehr heiteren Tagen überschritten wurde. Ein Gleiches ist einem vereinzelten, von mir angestellten und hier mitzutheilenden Versuche zu entnehmen.

Vier Versuchsröhren wurden in bekannter Weise mit gleichgrossen Oleanderblättern und einer kohlensäurereichen Luft beschickt. Eine dieser Röhren wurde der direkten Sonne exponirt, während die anderen durch ein, zwei oder drei Lagen eines sehr dünnen Seidenpapiers gedämpftes Sonnenlicht empfingen. Aus dem Seidenpapier waren Cylinder zusammengewickelt, welche in gleicher Weise wie die mit farbigen Medien gefüllten Glocken über die Versuchsröhren gestülpt wurden. Der Versuch wurde an einem sehr heiteren Tage, den 3. August ausgeführt, an welchem während der zweistündigen Expositionszeit, von 9 Uhr 40 Minuten bis 11 Uhr 40 Minuten, die Sonne ununterbrochen die Apparate beschien und ein frei an der Sonne hängendes Thermometer 29 bis 31° C. zeigte. Wie man aus der umstehenden Zusammenstellung des Versuches sieht, ist in direkter

1) Cmpt rendus 1866, T. 63, p. 708; Agronomie, Ch. agricole etc. B. IV, p. 359 ff.
2) Jahrb. f. wiss. Bot. Bd. V, p. 20.
3) Jahrb. f. wiss. Bot. VI, p. 20, 31 u. 48.

Sonne am meisten, in dem durch drei Lagen Seidenpapier gedämpften Sonnenlicht am wenigsten Kohlensäure zersetzt worden.

	Vor Exposition. G. Vol. = CO^2 + Luft. C. C.	Nach Exposition. G. Vol. = CO^2 + Luft. C. C.	Von 20 C. Q. in 2 Stunden zersetzte CO^2. C. C.
Direkte Sonne	72,76 = 8,49 + 64,27	72,63 = 2,79 + 69,84	5,70
Eine Papierlage	72,22 = 8,30 + 63,92	72,26 = 3,35 + 68,91	4,95
Zwei Papierlagen	72,87 = 8,07 + 64,80	72,92 = 3,72 + 69,20	4,35
Drei Papierlagen	73,02 = 8,82 + 64,20	73,08 = 4,59 + 68,49	4,23

Die Assimilationsthätigkeit im farbigen Licht.

Die Methode der vergleichenden Untersuchungen über die Wirkung des farbigen Lichtes wurde bereits auseinandergesetzt. Bei jedem Versuche wählte ich immer Blätter von gleichgrosser Blattfläche, die ausserdem auch ihrem Gewicht und Colorit nach möglichst vollkommen übereinstimmten. Waren diese Blätter in die kohlensäurereiche Atmosphäre der Versuchsröhren gebracht, so wurden sie unter den mit verschiedenen Flüssigkeiten gefüllten Glocken immer gleich lange und bei gleicher Insolation exponirt. In jeder der Versuchsreihen war eine Glocke mit Wasser gefüllt, um mit Hülfe der im weissen Licht zersetzten Kohlensäure die hinter den farbigen Medien zu verschiedenen Zeiten erhaltenen Resultate untereinander vergleichen zu können. Da ich die im gemischten Lichte zersetzte Kohlensäure gleich 100 setzte, so drücken die für die farbigen Flüssigkeiten sich berechnenden Werthe die Zersetzungskraft der durchgelassenen Strahlen in Procenten aus. In den wenigen Fällen wo Kohlensäure sich bildete, wurde in gleicher Weise verfahren, die procentischen Werthe sind hier nur negativ zu nehmen; sie sind in dem folgenden Täfelchen durch cursiven Druck

	Zahl der Analysen.	Procentische Mittelwerthe.	Die Extreme.
		a) für zersetzte CO^2.	
Wasser . . .		100	
Chrs. Kali . .	10	88,6	79,2 — 98,7
Cuoammon . .	11	7,6	4,5 — 10,1
Orsellin . . .	10	53,9	48,0 — 62,8
Anilinviolett . .	10	38,9	30,4 — 46,9
Anilinroth . .	10	32,1	25,1 — 28,4
Chlorophyll . .	5	15,9	10,5 — 20,1
		b) für gebildete CO^2.	
Dunkel . . .	4	*13,2*	*10,0 — 17,2*
Jodlösung . .	4	*14,1*	*11,1 — 16,4*

ausgezeichnet. In diesem sind die berechneten procentischen Mittelwerthe, die Zahl der Analysen, aus welchen das Mittel entnommen wurde und die gefundenen Extreme zusammengestellt. Die detaillirten Belege bitte ich am Schlusse dieser Abhandlung nachzusehen.

Die immerhin erhebliche Amplitude der Extreme, welcher wir in der letzten Vertikalreihe begegnen, ist nicht in einem Fehler der Methode begründet, sondern liegt in der Natur der Sache. Neben anderen schwer zu bemessenden Umständen dürfte ganz besonders die individuell verschiedene Assimilationsfähigkeit der Blätter in Betracht kommen, die auch mit aller nur erdenklichen Sorgfalt als Fehlerquelle nicht zu beseitigen ist. Man sieht aber, was wichtig ist, dass die Mittelwerthe ziemlich genau mitten zwischen den Extremen liegen und auch die Zahl von 10 Analysen, welche mit allen den farbigen Flüssigkeiten unternommen wurden, aus welchen die Wirkung einzelner Spektralfarben abgeleitet werden sollte, bürgt für eine zu unseren Zwecken ausreichende Genauigkeit der mittleren Werthe, wofür wir auch noch weitere Garantien im Verlaufe unserer Betrachtungen finden werden. Bei den Versuchen im Dunkeln und hinter Jodlösung kam es nicht auf Gewinnung sehr genauer Werthe an und reichten hier, ebenso wie für Chlorophyll auch schon eine geringere Zahl von Experimenten aus. Die angestellten Analysen sind ausnahmslos am Ende dieser Abhandlung mitgetheilt und nur zwei, die Versuche 21 und 22 wurden bei der Berechnung der Mittelzahlen nicht verwendet. In diesen ist aber, wie man seines Ortes sehen kann, nur der für Anilinroth im Versuch 21 gefundene Zersetzungswerth fehlerhaft ausgefallen.

Wie aus früherer Beschreibung und Darstellung zu ersehen ist, waren die Lösungen von chromsaurem Kali und Kupferoxydammoniak so regulirt, dass das Spektrum durch dieselben in zwei Hälften getheilt wurde; Kupferoxydammoniak liess die violetten und blauen und einen geringen Theil der grünen Strahlen, chromsaures Kali die anderen minder brechbaren Strahlen des Spektrums hindurch. Addiren wir die hinter den beiden Medien zersetzten und in Procenten ausgedrückten Kohlensäuremengen, so dürfen wir erwarten als Summe 100 zu erhalten. In der That finden wir 96,2, eine Zahl die an und für sich schon unsere Erwartung bestätigt und durch den Ausfall von 3,8 nur für die Genauigkeit der erhaltenen Resultate spricht. Denn wie schon früher gesagt, ist alles durch die blaue und ebenso ein Theil des durch die gelbe Lösung gehenden Grüns merklich geschwächt, die im farbigen Medium absorbirten Strahlen sind aber natürlich für den Zersetzungsprozess der Kohlensäure verloren. Ebenso ist es nicht unwahrscheinlich, dass in den farbigen Flüssigkeiten auch einige von den Strahlen zurückgehalten werden, welche scheinbar ohne Schwächung dieselben durchdringen.

Wie es ja schon aus früheren Arbeiten bekannt ist, finden wir auch hier wieder die minder brechbaren Spektralfarben als die bei der Assimi-

lation fast allein wirksamen, die ihrer energischen Wirkung auf Chlorsilber halber als »chemische« getauften Strahlen, aber bei diesem doch auch chemischen Prozesse nur sehr wenig, nicht einmal $^1/_{12}$ jener leisten.

Um mich zu vergewisseren, ob bei einer längere Zeit dauernden Einwirkung der blauen und violetten Strahlen die Assimilationsthätigkeit eines Blattes vielleicht ganz sistirt oder wenigstens beeinträchtigt werde, wurden die im Versuch 6 und 7 aufgeführten Experimente angestellt. Im ersteren Falle wurden zwei gleiche, mit Kupferoxydammoniak gefüllte Glocken angewandt, unter die eine wurde ein Blatt gebracht, welches bis zum Beginn des Versuches von der Sonne insolirt worden war, unter die andere ein gleiches Blatt, welches vor Beginn der Exposition bereits vier Stunden lang nur die durch Kupferoxydammoniak passirende Strahlen empfangen hatte. Der Erfolg zeigte, dass beide Blätter ungefähr gleichgrosse Mengen Kohlensäure zerlegt hatten. Beim 7. Versuch wurden die Kirschlorbeerblätter von Zweigen genommen, welche bereits sieben Tage zuvor abgepflückt und in Wasser gestellt worden waren. Der eine dieser Zweige hatte während dieser Zeit frei hinter einem Fenster gestanden, von den zwei anderen hatte aber der eine nur die durch chromsaures Kali, der andere nur die durch Kupferoxydammoniak dringenden Strahlen empfangen. Erst unmittelbar vor Beginn des Versuches wurden die Blätter abgepflückt und dieselben dann in demselben Lichte, welches sie bisher erhalten hatten, exponirt. Auch hier wurden hinter Kupferoxydammoniak sowohl, als hinter chromsaurem Kali relativ gleiche Mengen von Kohlensäure zersetzt, als bei anderen Experimenten, bei welchen die Blätter vor Beginn des Versuches von der Sonne insolirt worden waren. Also selbst bei siebentägigem Verweilen in blauem Lichte hatte die Zersetzungskraft eines Blattes nicht gelitten. Dasselbe gilt für das hinter chromsaurem Kali gestandene Blatt und zudem zeigt unser Versuch auch noch, dass ein Blatt, mit nur einem Aestchen vom Stamme getrennt, auch nach sieben Tagen seine Assimilationsthätigkeit nicht eingebüsst hat, wenn ihm mittlerweile nur genügende Menge von Feuchtigkeit zugeführt wird. Gleiches hat übrigens Boussingault bereits durch speciell auf diesen Punkt gerichtete Versuche nachgewiesen.

Wie wir sahen wird hinter den Lösungen von chromsaurem Kali und Kupferoxydammoniak, von denen jede etwa die Hälfte des sichtbaren Spektrums hindurchlässt, so viel Kohlensäure wie im gemischten Lichte zerlegt. Wenn es hierdurch auch wahrscheinlich wird, dass jeder einzelnen Spektralfarbe eine spezifische Wirkung auf die Assimilation zukommt, gleichviel ob jene isolirt oder mit anderen Strahlen combinirt zur Wirkung kommt, so sind diese Versuche doch noch nicht entscheidend. Es wäre bei der geringen Bedeutung der blauen und stärker brechbaren Strahlen für die Assimilation immerhin denkbar, dass die vereinten minder brechbaren Spektralfarben die Zersetzung einer grösseren Kohlensäuremenge einzuleiten vermögen, als wenn die Farben einzeln auf assimilationsfähige Blätter einwirken.

Zwei Wege sind es, die wir bei der Prüfung der Wirkung von Strahlen bestimmter Brechbarkeit auf die Assimilation einschlagen können; entweder wir lassen diejenige Spektralfarbe deren Einfluss auf die Zersetzung der Kohlensäure wir kennen lernen wollen, isolirt auf ein Blatt einwirken, oder wir schliessen die zu untersuchenden Lichtstrahlen aus und gestatten allen übrigen Strahlen des Spektrums den Zutritt. Ausschliesslich der erstere Weg wurde von allen bisherigen Forschern betreten, der letztere würde, wie ja auch für die Nährstoffuntersuchungen, der allein zulässige sein, wenn gewisse Lichtfarben zur Assimilation in einem analogen Verhältniss, wie unentbehrliche Nährstoffe zu dem Wachsthum ständen. Die Entscheidung dieser letzteren Frage ist übrigens nach beiden Untersuchungsmethoden möglich.

Gewiss wäre es der Controlle halber erwünscht gewesen, die Wirkung einzelner Spektralfarben sowohl auf dem direkten zweiten,—als dem indirekten erstgenannten Wege kennen zu lernen, allein der Mangel brauchbarer Flüssigkeiten machte mir dieses unmöglich. So habe ich keine Flüssigkeit finden können, welche allein gelbe oder grüne Strahlen oder auch beide zusammen hindurchlässt und ebenso keine Lösung, welche dem ganzen sichtbaren Spektrum bis auf Roth oder Roth und Orange den Durchtritt gestattet. Indess gibt es mehrere Flüssigkeiten, welche allein rothe und orange Strahlen hindurchlassen, von denen ich die alkoholische Lösung von Anilinroth wählte, weil durch diese die genannten Strahlen mit besonderer Lichtstärke dringen. In Orsellin fand ich einen Körper, dessen geeignet concentrirte Lösung allein die gelben Strahlen mit nur wenig Orangen wegnimmt und im Anilinviolett einen anderen, der die gelben und grünen Strahlen zusammen absorbirt. Die Wirkung der gelben Strahlen auf die Assimilation ergibt sich also als Differenz der hinter Wasser und hinter Orsellinlösung zersetzten Kohlensäure und ebenso lernt man die Wirkung der gelben und grünen Strahlen zusammen durch Vergleich der mit Wasser und mit Lösung von Anilinviolett erhaltenen Resultate kennen. Ist aber so die Bedeutung der gelben und grünen Strahlen zusammen und die der gelben allein für die Assimilation bekannt, so lässt sich auch die Wirkung der grünen Strahlen für sich finden. Die dunklen Absorptionsstreifen der Orsellin- und Anilinviolettlösung reichten bis zur Natronlinie und gerade bis zu dieser Linie liess die angewandte Lösung von Anilinroth die rothen und orangen Strahlen hindurch, welche also direkt geprüft wurden. Die Strahlen welche brechbarer als die grünen sind, kamen bei der Kupferoxydammoniaklösung zur Anwendung, das wenige Grün, was diese Flüssigkeit hindurchlässt ist, wie schon früher gesagt, so lichtschwach, dass es auf die Assimilation jedenfalls nur wenig Einfluss haben kann. Da die blauen, Indigo- und violetten Strahlen zusammen so wenig Kohlensäure zu zersetzen vermögen, so habe ich die Wirkung dieser Spektralfarben nicht einzeln kennen zu lernen gesucht.

In der eben auseinandergesetzten Weise finden wir im Vergleich zum

gemischten Lichte gleich 100, die Wirkung für die gelben Strahlen[1] 46,1, für die grünen und gelben zusammen 61,1 und so stellt sich die Zersetzungskraft der grünen Strahlen allein zu 15 heraus. Diese indirekt gefundenen Werthe, sind mit den direkt für die stärker und schwächer brechbaren Strahlen des sichtbaren Spektrums gefundenen in folgendem Täfelchen zusammengestellt.

Roth und Orange .	32,1	Procent,
Gelb	46,1	,,
Grün	15,0	,,
Blau, Indigo u. Violett	7,6	,,
Summa =	100,8	

Die Summirung der für Strahlen bestimmter Brechbarkeit gefundenen Zersetzungswerthe gibt also fast genau 100, den Zersetzungswerth des gemischten Lichtes. Hieraus folgt aber ganz evident, *dass jede Spektralfarbe eine specifische Zersetzungskraft für Kohlensäure zukommt, die dieselbe bleibt, gleichviel ob die betreffenden Strahlen für sich oder mit anderen combinirt auf assimilationsfähige Blätter einwirken; wenigstens so lange die Beobachtungen auf kurze Zeiten ausgedehnt ist.* Schon durch die mit Kupferoxydammoniak und chromsaurem Kali erhaltenen Resultate wurde dieses wahrscheinlich gemacht und nach der energischen Wirkung, welche isolirte Spektralfarben u. a. in Draper's Versuchen zeigen, war nicht anzunehmen, dass das gemischte Licht mehr Kohlensäure zu zersetzen vermag, als die einzelnen angewandten Spektralfarben zusammengenommen.

Neben blauen und stärker brechbaren Strahlen dringen auch noch einige grüne Strahlen durch Kupferoxydammoniak, die, wie schon gesagt, aber sehr lichtschwach sind und desshalb unmöglich bei der Kohlensäurezersetzung viel leisten können, da ohnehin die Erstreckung dieses Grünes nur etwa $^1/_5$ von der gesammten Ausdehnung dieser Farbe im Spektrum ausmacht. Selbst also, wenn das Grün nicht geschwächt und die Zersetzungskraft im ganzen Grün des Spektrums gleich gross wäre, so würde die partiare Wirkung der durch Kupferoxydammoniak dringenden grünen Strahlen gleich 3 zu setzen sein. Um diesen Werth also kann obige Summe höchstens zu hoch ausgefallen sein, da ausserdem die Wirkung der gesammten grünen Strahlen mit 15 in derselben enthalten ist. Es berührt aber begreiflicherweise unsere Schlüsse nicht im geringsten, wenn bei der Summirung eine um fünf zu hohe oder zu niedere Zahl erhalten wird, die Uebereinstimmung bleibt auch dann noch eine so vollständige, als bei Untersuchungen dieser Art nur immer erwartet werden kann; die geradezu gänzliche Uebereinstimmung ist ohnehin nur als eine rein zufällige zu betrachten.

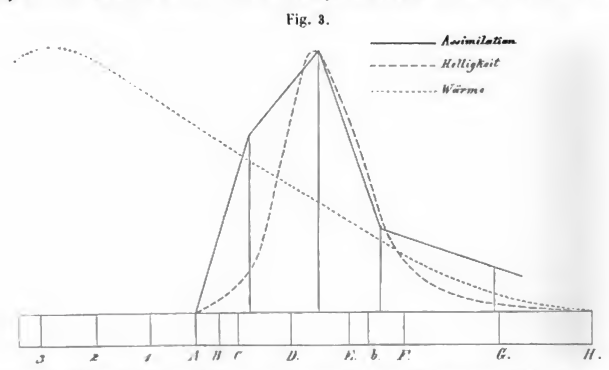
Für die Genauigkeit der für einzelne Spektralfarben gefundenen Werthe

1) Ich nenne hier der Einfachheit halber »gelbe Strahlen« die Strahlen des Spektrums von *D* bis nicht ganz zu *E*, wobei freilich auch einige orange Strahlen mit einbegriffen sind.

gibt deren Summirung schon genügende Garantie und ferner auch ein Vergleich mit dem hinter chromsaurem Kali erhaltenen Resultate. Die Lösung dieses Körpers lässt in der angewandten Concentration die rothen, orangen, gelben und den grösseren Theil der grünen Strahlen hindurchgehen. Für diese Strahlen, wenn wir das ganze Grün mitrechnen, erhalten wir durch Summirung aus obigem Täfelchen einen Zersetzungswerth von 93,2, eine Zahl die an und für sich schon gut mit 88,6, dem für chromsaures Kali gefundenen Zersetzungswerth übereinstimmt. Es fehlt aber nicht nur etwa $^1/_5$ der grünen Strahlen in dem vom chromsauren Kali durchgelassenen Spektrum, sondern es ist auch das äusserste passirende Grün noch geschwächt und so würde die Valenz dieses Farbengemenges mindestens um 3 zu vermindern sein, und dann ergeben sich bis auf ein Plus von etwa $1^1/_2$, also sehr zufriedenstellend übereinstimmende Werthe. Ein gleich günstiges Resultat gibt auch ein Vergleich der hinter Kupferoxydammoniak zersetzten Kohlensäuremenge mit dem für die entsprechenden Strahlen sich berechnenden Zersetzungswerthe, der sich für Blau, Indigo und Violett zu 6,8 nach Abzug der stärker brechbaren Strahlen herausstellt. Für Kupferoxydammoniak wurde ein Valenz von 7,6 im Mittel gefunden, durch diese Lösung dringt aber auch noch eine geringe Menge sehr lichtschwachen Grüns, dessen Zersetzungswerth, wie aus dem Vorhergehenden ersichtlich, wesentlich weniger als 3 sein wird.

Wie aus der vorhin mitgetheilten Zusammenstellung zu ersehen ist, kommt fast die Hälfte der gesammten zersetzenden Kraft des Sonnenlichtes den gelben Strahlen zu, von welchen aus dieselbe nach beiden Seiten des Spektrums schnell abnimmt. Aus den gefundenen Werthen ist in dem bei-

Fig. 3.



gegeben Holzschnitt eine Curve der Zersetzungskraft construirt, indem jenen entsprechende Ordinaten auf die Mitte der Strecken, welche die untersuchten

Spektralfarben in dem dargestellten Spektrum einnehmen, eingestellt wurden. Wie man sieht ist die Zersetzungskurve der nach FRAUNHOFER[1]) eingetragenen Curve der Helligkeit nach Lage und Form sehr ähnlich, und es würde sich unbedingt eine noch grössere Uebereinstimmung herausstellen, wenn für die Construktion der ersteren nur eine genügende Anzahl von Ordinaten zu Gebote stände. Denn es ist kaum zweifelhaft, dass die orangen Strahlen viel mehr Kohlensäure zu zersetzen vermögen, als die rothen, welche letzteren nach DRAPER[2]) nur sehr wenig bei der Assimilation zu leisten vermögen. Ich habe aber diese Strahlen nur vereint bei der Untersuchung angewandt und kann desshalb nicht die jeder einzelnen dieser beiden Spektralfarben entsprechende Ordinate errichten. In gleicher Weise habe ich die blauen und stärker brechbaren Strahlen nur vereint untersucht, während nach DRAPER die Indigo- und violetten Strahlen gar keine Gasausscheidung bei in Wasser untergetauchten Pflanzentheilen veranlassten.

Die geringe Bedeutung der stärker brechbaren, auf Chlorsilber u. s. w. so energisch wirkenden Strahlen folgt schon aus früheren Arbeiten (DAUBENY, DRAPER, SACHS u. a.) und ebenso aus den von mir erhaltenen Resultaten. Ich habe desshalb die Curve der chemischen Intensität, wie sie von BUNSEN und ROSCOE gefunden wurde, deren Maximum über die violetten Strahlen zu liegen kommt, im beigegebenen Holzschnitt gar nicht eingetragen. Uebrigens ist die Formirung neuer Verbindungen aus den Elementen von Kohlensäure und Wasser auch ein chemischer Prozess und es nicht wohl gerechtfertigt nur die auf Chlorsilber, Chlorknallgas u. a. besonders wirkungsfähigen Strahlen mit dem Namen »chemische Strahlen« zu belegen, wogegen auch von früheren Autoren, wie DRAPER, SACHS, protestirt wurde.

Schon DRAPER[3]) zeigte, dass die dunklen Wärmestrahlen grüne Pflanzentheile nicht zur Assimilation anzuregen vermögen und dasselbe Resultat ergaben, wie mit Sicherheit vorauszusagen war, die von mir mit Lösung von Jod in Schwefelkohlenstoff angestellten Versuche. Diese Lösung absorbirt bei genügender Concentration alle leuchtenden Strahlen, lässt aber den grössten Theil der dunklen Wärmestrahlen hindurch, auch wenn sie in Glasgefässen eingeschlossen ist, die diese Strahlen, namentlich die grösster Wellenlänge, in erheblicher Menge zurückhalten.[4]) Bei 4 mit dieser Jodlösung angestellten Versuchen wurde eine mittlere Kohlensäurebildung, die man nach dem bisherigen Schema als negative Valenz von 14,1 bezeichnen darf, gefunden und fast gleichen Werth, nämlich 13,2, ergaben 4 im Dunkeln angestellte Experimente. Bei diesen letzteren wurde über eine in bekannter Weise beschickte Versuchsröhre ein Rezipient von schwarzer Pappe gestülpt, der während des Versuches von der Sonne beschienen wurde.

---

1) Denkschrift d. Akad. z. München 1817, p. 214 mit Tafel.

2) Diese Arbeit p. 3.

3) Vergl. diese Arbeit p. 4.

4) Vergl. diese Arbeit p. 29.

Cailletet [1]) gibt bei seinen Experimenten mit Lösung von Jod in Schwefelkohlenstoff die Menge der Kohlensäure vor und nach Exposition als ganz gleich an und schliesst irrigerweise hieraus, dass Assimilation nicht stattgefunden habe. Wäre dieses der Fall, so müsste, wie ich bereits früher erwähnte, Kohlensäure gebildet worden sein, während das Gleichbleiben des Kohlensäuregehaltes nur dann möglich ist, wenn Assimilation und Athmung sich gerade das Gleichgewicht halten. Vielleicht war Cailletet's Lösung nicht concentrirt genug und liess noch einige rothe Strahlen passiren. Timirjaseff's [2]) Hypothese, dass die Kohlensäurezersetzung den Erwärmungskräften der Sonnenstrahlen proportional sei, beruht, wie ich bei der Kritik von dessen Arbeit zeigte, auf gänzlicher Verkennung der Thatsachen und hätte diese nicht einmal Versuche zum Zwecke der Widerlegung erfordert. Wie ganz verschieden übrigens die Curve der Assimilationsthätigkeit von der Wärmecurve ausfällt, ist aus dem beigegebenen Holzschnitt zu ersehen, in welchem auch die Intensitätscurve der Wärme nach J. Müller [3]) eingetragen ist.

Da bei meinen Versuchen Blätter von fünf verschiedenen Pflanzen immer mit gleichem Erfolge angewandt wurden, so ist wohl der Schluss erlaubt, dass alle grünen Blätter, überhaupt alle grünen Pflanzentheile unter dem Einfluss von Strahlen bestimmter Brechbarkeit auch gleiche relative Mengen von Kohlensäure zersetzen; wenigstens ist mir kein Faktum bekannt, welches auf ein in dieser Beziehung ungleiches Verhalten gewisser Pflanzen hinwiese. Es ist dieses um so bemerkenswerthes da allem Anschein nach das Chlorophyll verschiedener Pflanzen in ungleicher Weise durch Licht bestimmter Helligkeit zur Assimilation angeregt wird, denn selbst bei nahe verwandten Pflanzen finden sich solche, von denen die eine an den sonnigsten Orten vorkommt, die andere aber an so schattigem Orte lebt, dass erstere vielleicht an diesen gar nicht mehr würde assimiliren können. Die durch meine Versuche über die Wirkung des farbigen Lichtes auf die Assimilation sichergestellten Resultate sind kurz zusammengefasst folgende:

Nur die für unser Auge sichtbaren Strahlen des Spektrums vermögen die Zersetzung der Kohlensäure anzuregen und zwar leisten bei diesem Prozesse die am hellsten erscheinenden, die gelben Strahlen allein fast so viel, als alle übrigen Strahlen zusammengenommen. Die am stärksten brechbaren und auf Chlorsilber u. s. w. sehr energisch einwirkenden Strahlen des sichtbaren Spektrums haben für die Assimilation eine nur sehr untergeordnete Bedeutung.

Jeder Spektralfarbe kommt eine specifische quantitative Wirkung auf die Assimilationsthätigkeit zu, die unverändert bleibt, gleichviel ob die betreffenden

1) Vergl. früher, p. 8.
2) Vergl. früher, p. 10.
3) Poggdf. Annal. Bd. 124, p. 36.

Strahlen isolirt oder mit einigen oder mit allen anderen Strahlen des Spektrums combinirt auf chlorophyllhaltige Pflanzentheile einwirken.

Der Einfluss des durch eine Chlorophylllösung dringenden Lichtes auf die Assimilation wurde bisher noch nicht untersucht, wenigstens ist mir nur eine kurze Notiz von BECQUEREL [1]) bekannt, dass zwei Epheublätter, welche in kohlensäurehaltigem Wasser lagen und durch eine ziemlich concentrirte Chlorophylllösung dringende Lichtstrahlen empfingen, im Laufe von 6 Stunden 2 Cub. C. Gas ausschieden. Die Untersuchung der Wirkung, welche die durch eine Chlorophylllösung passirenden Strahlen auf die Assimilation ausüben, war aber von besonderem Interesse, da wir von SACHS [2]) wissen, dass hinter einer unverfärbten Chlorophylllösung Pflanzen zwar ergrünen, ein Chlorophyllauszug aber nicht eher verfärbt wird, als bis die umgebende Lösung selbst diesem Schicksal verfallen ist.

Das Spektrum der zu meinen Versuchen angewandten Chlorophylllösung wurde bereits früher beschrieben. Die stärker brechbaren Strahlen des Spektrums wurden ganz absorbirt und nur noch ganz wenig Blau blieb übrig. Der Absorptionsstreifen im Roth, und ebenso die beiden anderen, im Orange und zwischen Grün und Gelb, hatten zusammen eine solche Ausdehnung, dass sie etwa ein Viertel des Spektrums zwischen den Frauenhofer'schen Linien *A* und *F* verdunkelten. Mit grünem oder wenigstens nicht merklich verfärbtem Chlorophyllauszug wurden 4 Versuche, Nr. 23, 24, 25 und 26, gemacht, während der Versuch 27 mit verfärbter Lösung angestellt wurde. Diese letztere war aber durch freiwilliges Verdampfen des Alkohols so concentrirt, dass die Absorptionsstreifen in der schwächer gebrochenen Hälfte des Spektrums, welche beim Verfärben an Breite abnehmen, denen der angewandten grünen Lösung wieder möglichst gleich geworden waren.

Die Resultate der einzelnen Versuche sind in Folgendem zusammengestellt, und wie man sieht wurde hinter der verfärbten Lösung (Versuch 27) nicht mehr Kohlensäure, wie hinter einer noch grünen Lösung zersetzt.

23.	Versuch.	Zersetzte	Kohlensäure	=	19,9	Procent
24.	,,	,,	,,	=	10,5	,,
25.	,,	,,	,,	=	11,9	,,
26.	,,	,,	,,	=	20,1	,,
27.	,,	,,	,,	=	17,2	,,
			Mittel	=	15,9	Procent.

Der mittlere Zersetzungswerth von 15,9 erscheint auffallend gering, wenn man bedenkt, dass die Absorptionsstreifen vom Gelb und Grün nur wenig und auch von den orangen und rothen Strahlen nur einen Theil verdunkeln. Freilich wird auch von den zwischen den Absorptions-

1) BECQUEREL, la lumière, Paris 1868.

2) Experimtphys. p. 13.

streifen liegenden Strahlen ein erhebliches Quantum absorbirt, wie deren sehr entschiedene Lichtschwächung unzweifelhaft darthut. Diese Lichtschwächung kann sehr wohl die Ursache sein, dass die Assimilation hinter einer Chlorophylllösung so auffallend beeinträchtigt wird, doch fehlen wieder bestimmte Anhaltspunkte, um eine andere Möglichkeit zu widerlegen, dass nämlich die in den Absorptionsstreifen ausgelöschten Lichtstrahlen die Assimilation in ganz überwiegender Weise einleiten können. Absorptionsstreifen entstehen bekanntlich durch Auslöschen der Strahlen entsprechender Wellenlänge, sei es, dass dieselben in einem Medium in Arbeit oder in Wärme umgesetzt werden. Letztere Umwandlung ausschliesslich findet bei den Lösungen statt, welche am Lichte nicht verändert werden, und kann ebensowohl auch die alleinige Ursache der Absorptionsstreifen im Chlorophyll sein; hierfür spricht sogar der Umstand, dass beim Verfärben eines Chlorophyllauszuges die Absorptionstreifen nicht verschwinden, wenn sie auch an Breite abnehmen.

Unter diesen Umständen ist der Nachweis, dass hinter einer verfärbten und unverfärbten Chlorophylllösung gleiche, aber auffallend geringe Mengen Kohlensäure zersetzt werden, das Einzige, was aus meinen Versuchen mit Sicherheit zu entnehmen ist. Keinenfalls kann man aber auf diese Versuche allein hin schliessen, dass bestimmte disjunkte Strahlengruppen des Spektrums die Assimilation in besonders energischer Weise veranlassen, die Zersetzungscurve also durch eine Zackenlinie darzustellen ist. Ueber diesen Punkt entscheidende Versuche anzustellen, ist mit den jetzt zu Gebote stehenden Mitteln unmöglich und lassen sich auch ebenso wenig Wahrscheinlichkeitsgründe dafür oder dagegen anführen, ob in der Zersetzungscurve für Kohlensäure auch untergeordnete Maxima zu erwarten sind. Es liess sich hier höchstens darauf hinweisen, dass die nach Bunsen und Roscoe für die Wirkung der stärker brechbaren Strahlen auf Chlorsilber entworfene Curve zwei deutliche Maxima zeigt und auf Guillemain's [1] Versuche, nach welchen es im Spektrum für die heliotropische Krümmung zwei Maxima gibt, das eine in den schwächer als Roth, das andere in den stärker als Violett gebrochenen Strahlen. Auf diese letzteren Angaben ist indess kein Gewicht zu legen, da Guillemain's Resultate über die Wirkung verschieden stark gebrochener Strahlen auf heliotropische Krümmung wohl sicher einer Correktur bedürfen. [2])

Wie das Ergrünen hinter verfärbter und unverfärbter Lösung statt-

---

1) Annal. d. scienc. naturell. 1857, p. 329.

2) Nach Guillemain findet im ganzen Spektrum, die Wärmestrahlen niederer Temperatur ausgenommen, heliotropische Krümmung statt, welches Resultat vielleicht eine Folge unvollkommener Dispersion der Sonnenstrahlen im angewandten Prisma war. Sicher wenigstens ist, dass hinter Medien die wie chromsaure Kalilösung nur schwächer brechbare Strahlen durchlassen, keine heliotropische Krümmung eintritt. Näheres bei Sachs, Experimt.-phys. p. 42.

findet, so wird auch hinter beiden assimilirt und zwar mit gleicher Energie, wenn die Spektra der beiden Chlorophylllösungen möglichst übereinstimmen. Hingegen wird, wie SACHS zeigte, ein Chlorophyllauszug durch die eine grüne Chlorophylllösung passirenden Strahlen nicht verfärbt, wohl aber durch diejenigen Strahlen, welche durch eine verfärbte Chlorophylllösung hindurchgehen. Eine genügende Erklärung dieses interessanten Faktums vermag ich nicht zu geben.

Gasabscheidung durch Wasserpflanzen.

Es ist wohl mehr als wahrscheinlich, dass die Assimilationsthätigkeit bei Wasser- und Landpflanzen von den verschiedenen Spektralfarben in relativ gleicher Weise angeregt wird, und es war nun interessant zu sehen, wie sich die durch Blasenzählen erhaltenen Resultate gegenüber den von mir gefundenen Zersetzungswerthen für gleiche farbige Flüssigkeiten herausstellen würden.

Schon bei der Besprechung der SACHS'schen Arbeit habe ich hervorgehoben, dass das Blasenzählen nicht nur die bequemste, sondern auch die genaueste Methode ist, wenn es sich einfach um die Abhängigkeit der Gasabscheidung von Strahlen verschiedener Brechbarkeit handelt.[1] Dahingegen müsste, wenn hierdurch die Assimilationsthätigkeit selbst messbar sein sollte, das heraustretende Gas eine gleiche Zusammensetzung haben, gleichviel, ob der Blasenstrom mit grösserer oder geringerer Geschwindigkeit aus derselben Wunde hervorquillt. Dies ist aber im hohen Grade unwahrscheinlich.

Wenn eine Pflanze im Wasser liegend assimilirt, so wird das in derselben im absorbirten und gasförmigen Zustand eingeschlossene Gas in keinem Augenblick sich mit dem im umgebenden Medium aufgelösten in einem Gleichgewichtszustand befinden, der indess fortwährend angestrebt werden muss. So wird ein Sauerstoffstrom aus der Pflanze zum Wasser gehen und umgekehrt besonders Kohlensäure, doch auch Stickstoff in die Pflanze diffundiren. Diese kurzen Andeutungen über ein von SACHS[2] ausführlich behandeltes Thema genügen hier, um uns einer Pflanze, die aus einer Wunde einen Blasenstrom hervortreten lässt, zuwenden zu können. Der Sauerstoff wird von der Zelle aus, in welcher er durch Zerlegung der Kohlensäure gebildet wurde, zum Theil wohl direkt in das umgebende Wasser diffundiren, zum voraussichtlich grössten Theil aber in das Innere der Pflanze dringen, um in den Intercellularräumen und Luftlücken sich im gasförmigen Zustande zu sammeln und nach der den Austritt gestattenden Wunde hinzuströmen. Auf den Wege, den er bis hierher von seiner

1) Früher p. 13.

2) SACHS, Experimtphys. p. 245.

Bildungsstätte aus im absorbirten und gasförmigen Zustand zurückzulegen hat, mischen sich ihm die anderen in der Pflanze enthaltenen Gase, Stickstoff und Kohlensäure, bei, und eine Ausgleichung mit diesen wird um so vollständiger sein können, je länger der zu durcheilende Weg ist, oder je langsamer eine bestimmte Strecke durchlaufen wird. Da nun bekanntlich die Geschwindigkeit des Blasenstromes unter dem Einfluss verschiedener Spektralfarben eine sehr ungleiche ist und desshalb anzunehmen steht, dass der Sauerstoffgehalt der Blasen um so geringer ausfällt, je langsamer dieselben aufeinander folgen, so wird das vergleichende Blasenzählen einen der wirklichen Assimilationsthätigkeit gegenüber um so höheren Werth geben, je weniger energisch die Kohlensäurezersetzung durch die zutretenden Strahlen des Spektrums angeregt wird. Diese Folgerung fand ich in zufriedenstellender Weise bestätigt, als ich die Gasabscheidung unter denselben farbigen Flüssigkeiten beobachtete, mit welchen ich meine Untersuchung über die Assimilationsthätigkeit von Landpflanzen anstellte.

Ueber die Ausführung des Blasenzählens habe ich hier nur weniges in Betreff der von mir angewandten Zusammenstellung der Apparate zu sagen. Dieselben Glocken und dieselben Flüssigkeiten, wie bei meinen Versuchen mit Landpflanzen wandte ich auch beim Blasenzählen an, indem ich dieselben über ein geeignetes cylindrisches Gefäss stülpte, in welchem sich die Versuchspflanze, die immer Elodea canadensis war, befand, mit dem Stammquerschnitt nach oben gewandt und in ihrer Lage durch Anbinden an einen Glasstab unverrücklich fixirt. In das, in dem übrigens offen bleibenden Gefässe enthaltene Wasser wurde einige Zeit ein Kohlensäurestrom geleitet und das Zuleiten dieses Gases jedesmal wiederholt, nachdem einige vergleichende Zählungen, abwechselnd hinter einer mit Wasser und einer mit farbiger Flüssigkeit gefüllten Glocke gemacht worden waren. Die Versuche mit den verschiedenen Lösungen wurden nicht an denselben, immer aber an sehr hellen Tagen vorgenommen, und jedesmal die in einer oder bei geringer Zahl in 2 Minuten austretenden Blasen gezählt.

Die Resultate sind in Folgendem zusammengestellt und zwar die Blasenzahl in einer Minute und das hieraus sich ergebende Mittel in den beiden ersten Columnen und in der letzten Vertikalreihe noch die Werthe, welche sich für die farbigen Flüssigkeiten ergeben, wenn die Zahl der Blasen im weissen Licht, hinter der mit Wasser gefüllten Glocke, gleich 100 gesetzt wird. Die Temperaturen habe ich nicht angeführt, weil diese, wie ein in dem Versuchswasser stehendes Thermometer zeigte, bei zwei aufeinanderfolgenden Ablesungen stets um weniger als ein $^1/_2$ C. differirten.

Die Glocken gefüllt mit:	Zahl der Gasblasen in 1 Minute.						Im Mittel.	Zahl der im weissen Licht ausgeschiedenen Blasen = 100 gesetzt.
Wasser	27	26	26	25	26	27	26,2	100,0
Chrs. Kali *)	26	26	24	24	24	24	24,7	94,3
Wasser	33	34	34	35	34	33	33,8	100,0
Cuoammon *) . . .	6	7	6	7	7	6	6,5	19,2
Wasser	28	29	29	30	30	28	29,0	100,0
Orsellin	17	18	18	19	19	17	18,0	62,1
Wasser	28	28	30	30	30	28	29,0	100,0
Anilinviolett	14	14	15	15	15	14	14,5	50,0
Wasser	30	30	31	31	29	28	29,8	100,0
Anilinroth	13	14	14	14	13	12	13,3	44,6
Wasser	45	46	46	45	44		45,2	100,0
Chlorophyll **) . . .	13	14	14	13	12		13,2	29,2

*) Vgl. Sachs, Bot. Ztg. 1864, p. 363 u. Experimtphys p. 26.
**) Dieses ist eine Chlorophylllösung, welche bereits ein wenig verfärbt war.

Wenn die im weissen Licht, hinter der mit Wasser gefüllten Glocke, zersetzte Kohlensäure und ebenso die in diesem Fall ausgeschiedene Zahl der Gasblasen gleich 100 gesetzt wird, so ergeben sich die Werthe, welche in dem folgenden Täfelchen in der ersten und zweiten Vertikalreihe stehen. Die Differenz, um welche die durch Blasenzählen erhaltenen Werthe zu hoch ausgefallen sind, finden sich in der letzten Columne zusammengestellt.

	Im weissen Licht zersetzte CO^2 = 100	Im weissen Licht ausgeschiedne Gasblasen = 100	Differenz.
Wasser	100,0	100,0	0
Chrs. Kali . . .	88,6	94,3	5,7
Orsellin	53,9	62,1	8,2
Anilinviolett . .	38,9	50,0	11,1
Anilinroth . . .	32,1	44,6	12,5
Chlorophyll . .	15,9	29,2	13,3
Cuoammon . .	7,6	19,2	11,6

In diesem Täfelchen folgen die farbigen Medien so aufeinander, dass hinter jedem tiefer stehenden weniger Kohlensäure zersetzt wird, als hinter dem vorhergehenden, und wie man sieht, steigen die in der letzten Columne stehenden Differenzen im Allgemeinen in derselben Reihenfolge. Für Kupferoxydammoniak fällt die Differenz zwar etwas geringer aus, als

für Chlorophyll und Anilinroth, allein sie ist doch immer noch doppelt so gross als zwischen Wasser und chromsaurem Kali und gerade bei jenem Medium, hinter welchem die Gasblasen am langsamsten aufeinander folgen, war ein Fehler beim Zählen derselben am leichtesten möglich, da der Austritt einer Blase nicht immer genau mit dem Ablauf einer Minute zusammenfiel. Jedenfalls liegt in obigem Resultate der Beweis, *dass das Blasenzählen im farbigen Licht einen höheren, als der Assimilationsthätigkeit in den betreffenden Strahlen entsprechenden Werth ergibt und zwar im Allgemeinen um so höher, je weniger Kohlensäure überhaupt zersetzt wird.*

Der eben gezogene Schluss steht mit unseren theoretischen Folgerungen im vollen Einklang, und nach diesen ist wohl auch gewiss, dass der Sauerstoffgehalt der aus einer Wunde ausgeschiedenen Blasen sinkt, wenn dieselben langsamer aufeinander folgen. Doch erlauben obige Resultate einen bestimmten Schluss auf die Zusammensetzung der von einer Pflanze mit ungleicher Geschwindigkeit ausgeschiedenen Gase nicht, da hierbei auch die Diffusionsverhältnisse der Gase in einer nicht mit Sicherheit zu berechnenden Weise in Betracht kommen. Hierauf näher einzugehen, kann hier nicht in meiner Absicht liegen.

Bereits Daubeny[1]) kam, auf freilich sehr unsichere Belege hin, zu dem Schluss, dass das von Pflanzen unter Wasser ausgeschiedene Gas um so ärmer an Sauerstoff sei, je weniger Gas ausgegeben werde. Eine Bestätigung dieses Schlusses konnte Draper bei den Analysen, welche mit in verschiedenen Spektralfarben ausgeschiedenen Gasgemengen angestellt wurden, nicht finden, während bei Cloez und Gratiolet wieder das Sinken des Sauerstoffgehaltes mit Verringerung der ausgeschiedenen Gasmenge in ganz auffallender Weise hervortritt. Bei den Versuchen, die diese Autoren mit Wasserpflanzen anstellten, sammelten sich z. B. im Mittel aus 3 Beobachtungen 73,7 C. C. Gas hinter weissem Glase, für welches nach Abzug der Kohlensäure 76,8 Procent Sauerstoff gefunden wurden, unter blauem Glase hingegen wurden 18 C. C. Gas erhalten, in denen die Analyse nur 44,6 Procent Sauerstoff ergab (nach Abzug der Kohlensäure). Dieser gewaltige Unterschied in dem Verhältniss von Sauerstoff und Stickstoff, wie er in den beiden oben angeführten Fällen gefunden wurde, kann ein analytischer Fehler unmöglich sein, wenn auch die Sauerstoffbestimmung der genannten Autoren nach einer sehr mangelhaften Methode geschah. Diese analytischen Befunde haben übrigens keine endgültige Beweiskraft, da in der Zusammensetzung der ausgeschiedenen Gase wesentliche Aenderungen beim Aufsammeln statthaben konnten. Denn wenn das Sperrwasser ein gewisses Quantum Sauerstoff zu absorbiren vermochte, so musste der Sauerstoffgehalt eines in geringer Menge angesammelten Gasgemisches in höherem Grade vermindert werden, als wenn grössere Gasmengen sich ansammelten.

1) Siehe die Kritik dieser Arbeit, wie auch die der von Draper, Cloez u. Gratiolet.

Diese kurzen Andeutungen mögen hier genügen, da mir eigene Beobachtungen in dieser Richtung nicht zu Gebote stehen und eine ausführliche Kritik der einschlägigen Literatur nicht hierher gehört.

In meinen Untersuchungen wurde ausschliesslich die Wirkung der Strahlen verschiedener Brechbarkeit auf die Kohlensäurezersetzung durch chlorophyllhaltige Pflanzen behandelt und insofern, als dieser Prozess nicht ohne Bildung organischer Substanz gedacht werden kann, durfte auch die Bezeichnung »Assimilation« angewandt werden. Damit ist aber keineswegs gesagt, dass die Produkte der Assimilation ihrer qualitativen Beschaffenheit nach für dieselbe Pflanze gleich sind, gleichviel ob sie in gemischtem Lichte oder unter dem Einfluss einer oder einiger Spektralfarben gebildet wurden. Wenn dieses auch wahrscheinlich ist, so sind doch bis jetzt keine Beobachtungen in dieser Richtung angestellt worden, und von Fällen, wo eine nachweisbare Bildung von Assimilationsstoffen gänzlich unterblieb, wenn auch vielleicht ganz geringe Mengen Kohlensäure zersetzt werden konnten, ist natürlich abzusehen.

Daraus, dass die Strahlen mittlerer Wellenlänge so energisch auf die Assimilationsthätigkeit wirken, folgt aber noch keineswegs, dass ein mit wirklicher Gewichtszunahme verbundenes Wachsthum unter dem alleinigen Einfluss der schwächer brechbaren Strahlen des sichtbaren Spektrums stattfinden muss. Das Wachsthum setzt sich aus einem Complex von Funktionen zusammen, und wenn auch manche, wie Zelltheilungen und Neubildung von Organen in der Regel des Lichtes nicht bedürfen, [1]) so könnten doch andere möglicherweise nur unter dem Einfluss der blauen und stärker gebrochenen Strahlen sich abwickeln. Aus den bis jetzt bekannten Thatsachen, welche von Sachs [2]) zusammengestellt sind, ergibt sich, dass die chemischen Vorgänge in der Pflanze im Allgemeinen vorwiegend oder ausschliesslich durch die schwächer brechbaren Strahlen, die Bewegungserscheinungen durch die stärker brechbaren Strahlen beeinflusst werden. Mit Gewissheit lässt sich nun freilich voraussagen, dass bei alleinigem Zutritt der blauen und der Strahlen noch geringerer Wellenlänge, die bei der Assimilation so sehr wenig zu leisten vermögen, ein mit erheblicher Gewichtszunahme verbundenes Wachsthum nicht stattfinden kann; ob dies indess der Fall ist, wenn nur schwächer brechbaren Spektralfarben der Zutritt gestattet ist, können nur Versuche entscheiden.

Bei einigen Keimversuchen, die Sachs im farbigen Licht anstellte,

1) Näheres bei Sachs, Physiol. p. 30; Lehrbuch p. 618.
2) Lehrbuch, 2. Aufl. p. 625.

wurde nur das Aussehen der Pflänzchen beachtet, nicht aber bestimmt, ob eine Gewichtszunahme stattgefunden hatte. Hinter einer Lösung von Kupferoxydammoniak bildeten sich nur diejenigen Theile der Keimpflänzchen aus, welche auch im Dunkeln zur Entwicklung kommen, und nach nicht langer Zeit gingen die sehr schwächlichen, übrigens ergrünten Pflanzen regelmässig zu Grunde. Im orangen Licht (chromsaures Kali) hingegen kamen einige, wenn auch kleine Laubblätter zur Entwicklung, während die Internodien länger als im weissen Licht wurden; kurz die schwächer brechbaren Strahlen verhielten sich im Allgemeinen wie gedämpftes Tageslicht. [1])

Die einzige mir bekannte Publikation über Gewichtszunahme von Pflanzen, welche unter dem Einfluss von Strahlen geringerer Brechbarkeit erwachsen waren, wurde von Dr. A. Meyer [2]) gemacht. Dieser liess Erbsen und Wicken unter Pyramiden von gelbem Glas erwachsen und fand nach $10\frac{1}{2}$, respektive 9 Wochen, eine, wenn auch nur geringe Zunahme des Trockengewichts. Diese Glaspyramiden schlossen zwar die stärker brechbaren, die sogenannten chemischen Strahlen, vollständig aus, schwächten aber, wie es der Verfasser selbst angibt, das durchgehende Licht sehr erheblich, was für das Wachsthum der Pflanzen gewiss von Bedeutung war. Auch wurde zum Vergleiche nicht das Trockengewicht der Embryonen allein, sondern das der ganzen Samen bestimmt.

Ferner bin ich in der glücklichen Lage die Resultate eines anderen hierhergehörigen Versuches, welcher bereits im Sommer 1865 von Herrn Professor Sachs angestellt wurde, mit dessen gütiger Erlaubniss hier kurz mittheilen zu können.

Am 3. Mai 1865 wurden je drei Sonnenrosensamen in Gartenerde gesteckt und über die Blumentöpfe ähnliche doppeltwandige, nur viel grössere Glocken, wie ich sie bei meinen Versuchen anwandte, gestülpt. Eine derselben war mit Wasser, eine andere mit Lösung von Kupferoxydammoniak und die letzte mit Lösung von chromsaurem Kali gefüllt, die bei der angewandten Concentration in ähnlicher Weise, wie die von mir gebrauchten Lösungen das Spektrum halbirten. Für Luftzutritt und Ausschluss aller anderen als der durch die Flüssigkeiten dringenden Strahlen war vollständig gesorgt.

Unter der Glocke mit Kupferoxydammoniak entwickelten sich auch hier die Keimpflänzchen, von der Chlorophyllbildung abgesehen, nicht weiter, als es auch im Dunkeln der Fall gewesen sein würde, und da dieselben am 19. Mai zu verderben begannen, so wurden sie behutsam aus der Erde genommen, die Würzelchen auf das sorgfältigste gereinigt und zur Bestimmung des Trockengewichts bei Seite gestellt.

---

1) Sachs in Bot. Ztg. 1864, p. 371.

2) Produktion von organischer Pflanzensubstanz bei Abschluss der chemischen Lichtstrahlen in Landwirthschftl. Versuchsstationen Bd. IX. Ich kenne die Arbeit nur aus Hoffmann's Jahresb. d. Agrikulturchemie für 1867, p. 142.

Unter den beiden anderen Glocken blieben die Pflanzen bis zum 17. Juli und wurden dann gleichfalls mit ihrem Wurzelsysteme behutsamst aus der Erde genommen, gereinigt und zur Bestimmung des Trockengewichts hingestellt. Sowohl im weissen, als im orangen Licht waren die Pflanzen völlig gesund geblieben und zu ansehnlicher Grösse herangewachsen.

Nachdem die geernteten Pflänzchen längere Zeit über Schwefelsäure gestanden hatten, wurden sie so lange bei 100 C. getrocknet, bis keine Veränderung des Gewichtes eintrat. Im gleicher Weise wurde auch das Trockengewicht von 10 Embryonen von Sonnenrosen bestimmt und zu 0,394 Grmm., für einen Embryo also zu 0,0394 Grmm. gefunden.

Das Trockengewicht der drei im blauen Licht gekeimten Pflänzchen wurde zu 0,133 Grmm. gefunden; folglich ist im Mittel das Trockengewicht

eines im blauen Licht gekeimten Pflänzchens	0,044	Grmm.
eines Embryo	0,0394	,,
Differenz	0,0046	Grmm.

Wenn diese geringe Gewichtszunahme von 0,0046 Grmm. auch die möglichen Beobachtungsfehler kaum überschreitet, so zeigen uns doch obige Zahlen, dass eine geringe Assimilation im blauen Licht stattgefunden hatte, denn sonst hätte das Trockengewicht beim Keimen erheblich abnehmen müssen. So fand z. B. Boussingault [1]), dass bei einem im Dunklen keimenden Maiskorn während 20 Tagen fast die Hälfte der Trockensubstanz durch Athmung verloren gegangen war.

Im weissen und im orangen Licht wurden je zwei Pflanzen geerntet und das Trockengewicht für die ersteren zu 0,765 Grmm., für die letzteren zu 0,322 Grmm. bestimmt. Hiernach stellt sich das Trockengewicht und die Gewichtszunahme für eine Pflanze wie folgt:

Im weissen Licht erwachsene Pflanze.

Trockengewicht einer Pflanze	0,382	Grmm.
,, eines Embryos	0,0394	,,
Gewichtszunahme	0,3426	Grmm.

Im orangen Licht erwachsene Pflanze.

Trockengewicht einer Pflanze	0,161	Grmm.
,, eines Embryos	0,0394	,,
Gewichtszunahme	0,1216	Grmm.

Die Gewichtszunahme im orangen Licht beträgt also annähernd den dritten Theil (35,4 Procent) von der im weissen Licht. Diese relative Gewichtszunahme lässt sich aber natürlich nicht ohne Weiteres mit der hinter einer gleichen Lösung von chromsaurem Kali zersetzt werdenden Kohlensäuremenge vergleichen, sondern es müsste hierzu auch die durch Athmung

1) Vgl. Sachs, Expermtphys., p. 21.



während der nächtlichen Perioden gebildet werdende Kohlensäure in Rechnung gezogen werden, was mit einiger Genauigkeit kaum möglich sein dürfte. Das geht aber aus diesem Versuche mit aller Evidenz hervor, *dass eine, bei alleinigem Zutritt der Strahlen geringerer Brechbarkeit erwachsenden Pflanze sehr erheblich an Trockensubstanz zunimmt.*

Ein gleiches Resultat gab ein von Herrn Professor Sachs in diesem Sommer angestellter Versuch mit Ipomaea purpurea, bei dem leider eine Vergleichung mit im weissem Licht gewachsenen Pflanzen aus Mangel an gleichen Apparaten nicht angestellt werden konnte. Auch hier gediehen die Keimpflänzchen hinter einer Lösung von Kupferoxydammoniak nicht weiter als im Dunkeln und gingen endlich zu Grunde; ihr Trockengewicht wurde nicht bestimmt. Hinter einer Lösung von doppelt chromsaurem Kali wuchsen drei Pflanzen vom 10. Juni bis zum 8. August und wurden dann in einem ganz gesunden Zustand geerntet Aus der Bestimmung des Trockengewichts der drei Pflanzen und von 8 Embryonen ergibt sich die Gewichtszunahme einer Pflanze wie folgt:

Trockengewicht einer Pflanze	0,1812 Grmm.
,, eines Embryos	0,0104 ,,
Gewichtszunahme	0,1708 Grmm.

Diese vorlaufigen Mittheilungen zeigen, wie gesagt, nur, dass ein mit wirklicher Gewichtszunahme verbundenes Wachsthum unter dem alleinigen Einfluss der Strahlen der minder brechbaren Hälfte des sichtbaren Spektrums möglich ist. In welchem Verhältniss aber hier Gewichtszunahme und Assimilationsthätigkeit stehen, und wie sich das Wachsthum bei Zutritt, respektive Ausschluss einzelner minder brechbarer Spektralfarben gestaltet, müssen fernere Untersuchungen entscheiden.

Zusammenstellung der Versuche.

Die Resultate der angestellten Experimente sind in Folgendem zusammengestellt. Bei jedem vergleichenden Versuche ist für die bezeichneten Medien das gesammte Volumen des Versuchsgases und dessen Zusammensetzung aus Kohlensäure und Luft (G. Vol. $= CO^2 +$ Luft) vor und nach der Exposition angeführt, ferner die absolute Menge der von einem Blatte zersetzten Kohlensäure und die Differenz der Gasvolumina vor und nach der Exposition; eine Volumenzunahme ist mit +, eine Volumenabnahme mit — bezeichnet. Darunter folgen die zersetzten oder gebildeten Kohlensäuremengen, welche unter der Annahme, dass die Assimilationsthätigkeit und Athmung den Blattflächen proportional zu- und abnehme für 100 C. Q. Blattfläche und einstündige Exposition berechnet wurden, und endlich die Werthe, welche sich für die verschiedenen Medien ergeben, wenn die unter der mit Wasser gefüllten Glocke zersetzte Kohlensäure gleich 100 gesetzt wird. In den wenigen Fällen, wo Kohlensäure gebildet wurde, ist deren

absolute und die für 100 C. Q. Blattfläche und einstündige Versuchsdauer berechnete Menge durch cursivgedruckte Zahlen ausgezeichnet, ebenso auch die hier negativen procentischen Zersetzungswerthe.

Wenn bei besonders intensivem Sonnenschein die Apparate mit Schirmen von sehr durchscheinendem Pergamentpapier beschattet wurden, so ist es jedesmal bei dem Versuche angeführt. In diesem Falle wurde auch die Temperatur an einem hinter dem Schirm befindlichen, sonst aber an einem unbeschatteten Thermometer abgelesen.

Erste Versuchsreihe.

Neben Wasser wurden Lösungen von Kupferoxydammoniak (Cuoammon) und chromsaurem Kali (Chrs. Kali) angewandt. Bei wenigen gleichzeitig angestellten Versuchen, deren Zweck war, die im Dunklen gebildete Kohlensäuremenge kennen zu lernen, wurde ein Recipient aus schwarzer Pappe über ein Versuchsrohr gestülpt und diese Zusammenstellung an einem Fenster den Sonnenstrahlen ausgesetzt.

1. Versuch. 15. Juni.

Blätter von Prunus laurocerasus à 28 C. Q. Fläche und 1,0 C. C. Volumen wurden 3 Stunden lang, von 9 Uhr 40" bis 12 Uhr 40" Mrgs. exponirt. Dauernder Sonnenschein. Temperatur in Sonne 25—26 C.

	Vor Exposition.	Nach Exposition.		
	G. Vol. = CO^2 + Luft. C. C.	G. Vol. = CO^2 + Luft. C. C.	V. 18 C Q. in 3 Std. zersetzte CO^2. C. C.	Differenz der Volumina. C. C.
Wasser . .	77,07 = 8,55 + 68,52	76,84 = 4,50 + 72,34	4,05	— 0,23
Chrs. Kali .	75,68 = 7,83 + 67,85	75,63 = 4,26 + 71,37	3,57	— 0,05
Cuoammon	76,50 = 8,47 + 68,03	76,27 = 8,09 + 68,18	0,38	— 0,23

	Zersetzte CO^2 pro 100 C. Q. u. 1 Std. berechnet. C. C.	Hinter Wasser zersetzte CO^2 = 100.
Wasser	4,82	100
Chrs. Kali . . .	4,25	88,1
Cuoammon . . .	0,45	9,4

2. Versuch. 17. Juni.

Blätter von Prunus laurocerasus 3 Stunden, von 9 Uhr 50″ bis 12 Uhr 50″ Morgens exponirt; Blattflächen à 32 C. Q., Blattvolumen 1,1 C. C. Anfangs Sonnenschein und nur die letzte halbe Stunde theilweise bewölkter Himmel; die Apparate mit Papierschirmen beschattet. Thermometer in der Sonne 24—28 C.

	Vor Exposition	Nach Exposition.		
	G. Vol. = CO^2 + Luft. C. C.	G. Vol. = CO^2 + Luft. C. C.	V. 32 C. Q. in 3 Std. zersetzte o. geb. CO^2. C. C.	Differenz der Volumina. C. C.
Wasser . .	74,01 = 6,44 + 67,57	74,21 = 1,28 + 72,93	5,16	+ 0,20
Chrs. Kali .	74,81 = 7,63 + 67,18	74,87 = 2,99 + 71,88	4,64	+ 0,06
Cuoammon .	73,83 = 7,01 + 66,82	73,70 = 6,60 + 67,10	0,47	— 0,13
Dunkel . .	74,70 = 8,06 + 66,64	74,42 = 11,57 + 62,85	*3,51*	— 0,28

	Zersetzte od. geb. CO^2 pro 100 C. Q. u. 1 Std. berechnet. C. C.	Hinter Wasser zersetzte CO^2 = 100.
Wasser	5,37	100,0
Chrs. Kali . . .	4,83	89,9
Cuoammon. . .	0,49	9,1
Dunkel	*3,66*	*17,2*

3. Versuch. 19. Juni.

Blätter von Prunus laurocerasus à 31 C. Q. Fläche und 1,1 C. C. Volumen wurden von 9 Uhr 10″ bis 12 Uhr 10″ Morgens exponirt. Fast ununterbrochener Sonnenschein; die Apparate waren mit Papierschirmen beschattet. Temperatur in der Sonne 25—26 C.

	Vor Exposition.	Nach Exposition.		
	G. Vol. = CO^2 + Luft. C. C.	G. Vol. = CO^2 + Luft. C. C.	V. 31 C. Q. in 1 Std. zersetzte o. geb. CO^2 C. C.	Differenz der Volumina. C. C.
Wasser . .	73,53 = 6,15 + 67,38	73,43 = 0,05 + 73,38	6,10	— 0,10
Chrs. Kali .	75,44 = 6,43 + 69,01	75,35 = 1,12 + 74,23	5,31	— 0,09
Cuoammon .	75,87 = 6,28 + 69,59	75,31 = 5,87 + 69,44	0,41	— 0,56
Dunkel . .	75,85 = 6,15 + 69,70	75,46 = 7,17 + 68,29	*1,05*	— 0,39

	Zersetzte od. geb. CO^2 pro 100 C. Q. u. 1 Std. berechnet. C. C.	Hinter Wasser zersetzte CO^2 = 100.
Wasser	6,56	100,0
Chrs. Kali . . .	5,71	87,0
Cuoammon . . .	0,47	7,2
Dunkel	*1,34*	*17,2*

4. Versuch. 21. Juni.

Mit Blättern von Prunus laurocerasus à 27 C Q. Fläche und 1,0 C. C. Volumen. Expositionszeit und Wetter ganz wie im vorigen Versuch. Temperatur in der Sonne 24—27 C.

	Vor Exposition.	Nach Exposition.		
	G. Vol. = CO^2 + Luft. C. C.	G. Vol. = CO^2 + Luft. C. C.	V. 27 C. Q. in 3 Std. zersetzte o. geb. CO^2 C. C.	Differenz der Volumina. C. C.
Wasser . .	73,11 = 7,39 + 65,72	73,44 = 0,87 + 72,57	6,52	+ 0,33
Chrs. Kali .	73,04 = 7,00 + 66,04	73,26 = 1,10 + 72,16	5,90	+ 0,22
Cuoammon .	74,03 = 7,77 + 66,26	74,26 = 7,45 + 66,81	0,32	+ 0,23
Dunkel . .	75,15 = 7,26 + 67,89	75,19 = 7,98 + 67,21	*0,72*	+ 0,04

	Zersetzte od. geb. CO^2 pro 100 C. Q. u. 1 Std. berechnet. C. C.	Hinter Wasser zersetzte CO^2 = 100.
Wasser	8,05	100,0
Chrs. Kali . . .	7,28	90,5
Cuoammon . . .	0,39	4,9
Dunkel	*0,89*	*11,0*

5. Versuch. 22. Juni.

Blätter von Prunus laurocerasus à 26 C. Q. Fläche und 1,0 C. C. Volumen. Hinter Wasser, chromsaurem Kali und im Dunkeln waren die Blätter 3 Stunden, von 9 Uhr bis 12 Uhr Morgens, hinter Kupferoxydammoniak 8 Stunden, von 6 Uhr Morgens bis 2 Uhr Mittags exponirt. Während der ganzen Versuchszeit war ganz wolkenloser Himmel; die direkten Sonnenstrahlen wurden von den Apparaten durch transparente Papierschirme abgehalten. Thermometer hinter dem Schirm 24—28 C.

	Vor Exposition.	Nach Exposition.		
	G. Vol. = CO^2 + Luft.	G. Vol. = CO^2 + Luft.	V. 26 C. Q. in 3 resp. 8 Std. zers. o. geb. CO^2	Differenz der Voluinina.
	C. C.	C. C.	C. C.	C. C.
Wasser . .	74,69 = 7,74 + 66,95	74,36 = 1,93 + 72,43	5,81	— 0,33
Chrs. Kali .	74,69 = 6,73 + 67,96	74,51 = 1,17 + 73,34	5,56	— 0,18
Cuoammon .	73,49 = 7,47 + 66,02	73,27 = 6,55 + 66,72	0,92	— 0,22
Dunkel . .	73,60 = 5,85 + 67,75	73,28 = 6,43 + 66,85	0,58	— 0,32

	Zersetzte od. geb. CO^2 pro 100 C. Q. u. 1 Std. berechnet. C. C.	Hinter Wasser zersetzte CO^2 = 100.
Wasser	7,45	100,0
Chrs. Kali . . .	7,13	95,7
Cuoammon . . .	0,44	5,9
Dunkel	0,74	10,0

6. Versuch. 24. Juni.

Die zu diesen Versuchen bestimmten Blätter von Prunus laurocerasus wurden bereits Abends zuvor abgepflückt und mit dem Stiel in Wasser gestellt. Drei Blätter standen frei an einem Ostfenster und erhielten von Sonnenaufgang bis zum Beginn der Versuche direkte Sonne, das vierte, gleichfalls an einem Ostfenster stehende Blatt, empfing hingegen bis zum Beginn des Versuches nur Licht, welches eine concentrirte Lösung von Kupferoxydammoniak passirt hatte. Dieses Blatt, sowie auch eines der zuvor an direkter Sonne insolirten Blätter wurden unter mit Kupferoxydammoniak gefüllten Glocken 4 Stunden, von 8 Uhr 25″ bis 12 Uhr 25″ Morgens exponirt, von den anderen zwei Blättern hingegen blieb jedes nur 3 Stunden, von 9 Uhr 20 Minuten bis 12 Uhr 20 Minuten, hinter Wasser und chromsaurem Kali stehen. Jedes der Blätter hatte 28 C. Q. Fläche und verdrängte 1,1 C. C. Wasser. Der Himmel war meist mit weissen Wolken bedeckt; die Apparate wurden nicht mit Schirmen beschattet. Thermometer 23—27 C.

	Vor Exposition.	Nach Exposition.		Differenz der Volumina.
	G. Vol. = CO^2 + Luft.	G. Vol. = CO^2 + Luft.	V. 28 C. Q. in 3, resp. 4 Std. zersetzte CO^2	
	C. C.	C. C.	C. C.	C. C.
Wasser . .	72,02 = 7,90 + 64,12	71,66 = 3,37 + 68,29	4,53	— 0,36
Chrs. Kali .	72,06 = 8,12 + 63,94	71,85 = 4,32 + 67,53	3,80	— 0,21
Cuoammon I*	71,79 = 6,36 + 65,43	71,54 = 5,83 + 65,71	0,53	— 0,25
Cuoamm. II*	71,42 = 5,38 + 66,04	71,26 = 4,93 + 66,33	0,45	— 0,16

	Zersetzte CO^2 pro 100 C. Q. u. 1 Std. berechnet. C. C.	Hinter Wasser zersetzte CO^2 = 100.
Wasser	5,27	100,0
Chrs. Kali . . .	4,52	83,9
Cuoammon I* .	0,47	9,0
Cuoammon II* .	0,40	7,6

*) Bei dem mit Cuoammon I bezeichneten Versuche empfing das Blatt zuvor die direkte Morgensonne, während in dem mit Cuoammon II bezeichneten Versuche das Blatt bis zum Beginn des Versuches hinter Lösung von Kupferoxydammoniak verweilte.

7. Versuch. 1. Juli.

Die in diesem Versuche angewandten Blätter von Prunus laurocerasus stammten von Zweigen, welche am 23. Juni Mittags abgepflückt und in Wasser gestellt worden waren. Einer dieser Zweige, von denen jeder 6 bis 8 Blätter trug, blieb frei an einem Südfenster stehen, von den beiden anderen erhielt der eine nur Licht, welches eine Lösung doppelt chromsaures Kali, der andere nur solches, welches Kupferoxydammoniak passirt hatte. Zu dem Zwecke waren diese Zweige in grosse Blechkasten gestellt, deren dem Fenster zugewandte Seite durch ein doppelwandiges, zur Aufnahme der genannten Lösungen bestimmtes Glasgefäss gebildet war. Erst beim Beginn des Versuches wurden Blätter abgepflückt und die am Licht gestandenen hinter Wassser, die hinter chromsaurem Kali und Kupferoxydammoniak gebliebenen hinter den gleichen Lösungen exponirt. Das dem weissen Licht ausgesetzte Blatt hatte 26 C. Q., die beiden anderen Blätter 25 C. Q. Oberfläche; jedes der drei Blätter verdrängte 1,0 C. C. Wasser. Unter den mit Wasser und chromsaurem Kali gefüllten Glocken blieben die Blätter 4 Stunden, von 9 Uhr bis 1 Uhr, hinter Kupferoxydammoniak aber 5 Stunden, von 9 Uhr bis 2 Uhr Morgens, exponirt. Sonnenschein und von weissen Wolken reflektirtes Licht wechselte während der Dauer der Versuche; die Apparate wurden nicht durch Papierschirme beschattet. Das Thermometer zeigte zwischen 21—26 C.

	Vor Exposition.	Nach Exposition.		Differenz der Volumina.
	G. Vol. = CO^2 + Luft. C. C.	G. Vol. = CO^2 + Luft. C. C.	V. 25 od. 26 C. Q. in 4, resp. 5 St. zers. CO^2 C. C.	C. C.
Wasser . .	72,80 = 6,71 + 66,09	72,93 = 1,30 + 71,63	5,41	+ 0,13
Chrs. Kali .	71,70 = 6,14 + 65,56	71,64 = 1,75 + 69,89	4,39	— 0,06
Cuoammon .	71,87 = 6,48 + 65,39	71,53 = 5,82 + 65,71	0,66	— 0,34

	Zersetze CO^2 pro 100 C. Q. u. 1 Std. berechnet. C. C.	Hinter Wasser zersetzte CO^2 = 100.
Wasser	5,20	100,0
Chrs. Kali . . .	4,39	84,4
Cuoammon . . .	0,53	10,1

8. Versuch. 2. Juli.

Mit Blättern von Nerium Oleander à 21 C. Q. Fläche und 0,9 C. C. Volumen. Exponirt wurde 3 Stunden, von 9 Uhr 50″ bis 12 Uhr 50″, während welcher Zeit Sonnenschein und bewölkter Himmel oft wechselte. Das Thermometer schwankte zwischen 19 und 24 C.

	Vor Exposition.	Nach Exposition.		Differenz der Volumina.
	G. Vol. = CO^2 + Luft. C. C.	G. Vol. = CO^2 + Luft. C. C.	V. 21 C. Q. in 3 Std. zersetzte CO^2 C. C.	C. C.
Wasser . .	72,10 = 6,57 + 65,53	72,17 = 2,49 + 69,68	4,08	+ 0,07
Chrs. Kali .	74,08 = 7,87 + 66,21	74,21 = 4,64 + 69,57	3,23	+ 0,13
Cuoammon .	73,56 = 7,56 + 66,00	73,69 = 7,32 + 66,37	0,24	+ 0 13

	Zersetzte CO^2 pro 100 C. Q. und 1 Std. berechnet. C. C.	Hinter Wasser zersetzte CO^2 = 100.
Wasser	6,47	100,0
Chrs. Kali . . .	5,13	79,2
Cuoammon . . .	0,38	5,9

9. Versuch. 4. Juli.

Blätter von Senecio nemorensis à 21 C. Q. Fläche und 0,5 C. C. Volumen wurden 5 Stunden, von 9 Uhr 10″ bis 2 Uhr 10″ exponirt. Während

der Versuchsdauer war der Himmel mit weissen Wolken bedeckt, übrigens ziemlich helles Wetter. Das Thermometer zeigte 19 bis 21 C.

	Vor Exposition.	Nach Exposition.		
	G. Vol. = CO^2 + Luft. C. C.	G. Vol. = CO^2 + Luft. C. C.	V. 21 C. Q. in 5 Std. zersetzte CO^2 C. C.	Differenz der Volumina. C. C.
Wasser . .	73,22 = 6,94 + 66,28	73,32 = 1,86 + 71,46	5,08	+ 0,10
Chrs. Kali .	73,09 = 7,05 + 66,14	73,12 = 2,56 + 70,56	4,49	+ 0,03
Cuoammon .	73,47 = 6,66 + 66,81	73,31 = 6,39 + 66,92	0,23	— 0,16

	Zersetzte CO^2 pro 100 C. Q. u. 1 Std. berechnet. C. C.	Hinter Wasser zersetzte CO^2 = 100.
Wasser	4,84	100,0
Chrs. Kali . . .	4,28	88,4
Cuoammon . . .	0,22	4,5

10. Versuch. 5. Juli.

Mit Blättern von Convallaria latifolia à 22,5 C. Q. Fläche und 0,5 C. C. Volumen. Exponirt wurde 5 Stunden, von 9 Uhr 45″ bis 2 Uhr 45″, während welcher Zeit der Himmel fast fortwährend bewölkt war und nur selten Sonnenstrahlen durchbrachen. Thermometer 20 bis 24 C.

	Vor Exposition.	Nach Exposition.		
	G. Vol. = CO^2 + Luft. C. C.	G. Vol. = CO^2 + Luft. C. C.	V. 22,5 C. Q. in 5 Std. zersetzte CO^2. C. C.	Differenz der Volumina. C. C.
Wasser . .	73,83 = 7,78 + 66,05	73,87 = 3,26 + 70,61	4,52	+ 0,04
Chrs. Kali .	74,26 = 7,71 + 66,55	74,22 = 3,25 + 70,97	4,46	— 0,04
Cuoammon .	74,32 = 7,58 + 66,74	74,12 = 7,13 + 66,99	0,45	— 0,20

	Zersetzte CO^2 pro 100 C. Q. u. 1 Std. berechnet. C. C.	Hinter Wasser zersetzte CO^2 = 100.
Wasser	4,02	100,0
Chrs. Kali . . .	3,96	98,7
Cuoammon . . .	0,40	9,9

Zweite Versuchsreihe.

Die in dieser Reihe neben Wasser gebrauchten Flüssigkeiten sind ammoniakalische Lösung von Orsellin und alkoholische Lösungen von Anilinviolett und Anilinroth.

11. Versuch. 7. Juli.

Blätter von Prunus laurocerasus à 25 C. Q. Fläche und 0,9 C. C. Volumen wurden während 4 Stunden, von 9 Uhr bis 1 Uhr exponirt. Durch weisse und graue Wolken, welche den Himmel bedeckten, brach die Sonne nur dann und wann während dieser Zeit; das Thermometer zeigte 22—26 C.

	Vor Exposition.	Nach Exposition.		
	G. Vol. = CO^2 + Luft. C. C.	G. Vol. = CO^2 + Luft. C. C.	V. 25 C. Q. in 4 Std. zersetzte CO^2. C. C.	Differenz der Volumina. C. C.
Wasser . .	73,12 = 7,87 + 65,25	73,15 = 3,60 + 69,55	4,27	+ 0,03
Orsellin . .	72,38 = 7,71 + 64,67	72,41 = 5,03 + 67,38	2,68	+ 0,03
Anilinviolett	72,60 = 7,36 + 65,24	72,59 = 5,66 + 66,93	1,70	— 0,01
Anilinroth .	72,52 = 7,71 + 64,81	72,36 = 6,64 + 65,72	1,07	— 0,16

	Zersetzte CO^2 pro 100 C. Q. in 1 Std. berechnet. C. C.	Hinter Wasser zersetzte CO^2 = 100.
Wasser	4,27	100,0
Orsellin	2,68	62,8
Anilinviolett . .	1,70	39,8
Anilinroth . . .	1,07	25,1

12. Versuch. 8. Juli.

Prunus laurocerasus Blätter von 29 C. Q. Fläche und 1,0 C. C. Volumen wurden 3 Stunden, von 9 Uhr 15″ bis 12 Uhr 15″ exponirt. Die Sonne schien ohne Unterbrechung; die Apparate waren mit Papierschirmen gedeckt. Thermometer 28 bis 31 C.

	Vor Exposition.	Nach Exposition.		
	G. Vol. = CO^2 + Luft.	G. Vol. = CO^2 + Luft.	V. 29 C. Q. in 3 Std. zersetzte CO^2.	Differenz der Volumina.
	C. C.	C. C.	C. C.	C. C.
Wasser . .	71,68 = 7,56 + 64,12	71,68 = 3,14 + 68,54	4,42	0,00
Orsellin . .	72,66 = 8,60 + 64,06	72,52 = 6,42 + 66,10	2,18	— 0,14
Anilinviolett	70,42 = 6,00 + 64,42	70,41 = 4,52 + 65,89	1,48	— 0,01
Anilinroth .	71,22 = 6,82 + 64,40	71,15 = 5,63 + 65,52	1,19	— 0,07

	Zersetzte CO^2 pro 100 C. Q. und 1 Std. berechnet. C. C.	Hinter Wasser zersetzte CO^2 = 100.
Wasser	5,08	100,0
Orsellin	2,51	49,3
Anilinviolett . .	1,70	33,5
Anilinroth . . .	1,43	26,9

13. Versuch. 10. Juli.

Die angewandten Blätter von Prunus laurocerasus wurden à 19 C. Q. Fläche und 0,8 C. C. Volumen gefunden. Während der dreistündigen Expositionszeit, von 9 Uhr 30" bis 12 Uhr 30", schien die Sonne ununterbrochen und waren die Apparate mit Papierschirmen bedeckt. Thermometer 26—30 C.

	Vor Exposition.	Nach Exposition.		
	G. Vol. = CO^2 + Luft.	G. Vol. = CO^2 + Luft.	V. 19 C. Q. in 3 Std. zersetzte CO^2.	Differenz der Volumina.
	C. C.	C. C.	C. C.	C. C.
Wasser . .	70,94 = 8,43 + 62,51	70,91 = 4,60 + 66,31	3,83	— 0,03
Orsellin . .	70,33 = 7,58 + 62,75	70,19 = 5,58 + 64,61	2,00	— 0,14
Anilinviolett	70,20 — 7,82 + 62,38	70,05 = 6,14 + 63,91	1,68	— 0,15
Anilinroth .	71,17 = 7,80 + 63,37	71,04 = 6,33 + 64,71	1,47	— 0,13

	Zersetzte CO^2 pro 100 C. Q. und 1 Std. berechnet. C. C.	Hinter Wasser zersetzte CO^2 = 100.
Wasser	6,72	100,0
Orsellin	3,51	52,2
Anilinviolett . .	2,95	43,9
Anilinroth . . .	2,58	38,4

14. Versuch. 11. Juli.

Mit Blättern von Prunus laurocerasus à 25 C. Q. Fläche und 0,9 C. C. Volumen. Exponirt wurde von 9 Uhr 20″ bis 12 Uhr 20″, während welcher Zeit das Sonnenlicht nur dann und wann von weissen Wolken gedämpft wurde und die Apparate mit Schirmen gedeckt waren Thermometer 25—30 C.

	Vor Exposition.	Nach Exposition.		
	G. Vol. = CO^2 + Luft. C. C.	G. Vol. = CO^2 + Luft. C. C.	V. 25 C. Q. in 3 Std. zersetzte CO^2. C. C.	Differenz der Volumina. C. C.
Wasser . .	70,39 = 7,43 + 62,96	70,20 = 2,48 + 67,72	4,95	— 0,19
Orsellin . .	69,37 = 7,26 + 62,11	69,19 = 4,59 + 64,60	2,67	— 0,18
Anilinviolett	70,21 = 8,23 + 61,98	69,98 = 5,91 + 64,07	2,32	— 0,23
Anilinroth .	70,24 = 7,48 + 62,76	70,12 = 5,71 + 64,41	1,77	— 0,12

	Zersetzte CO^2 pro 100 C. Q. und 1 Std. berechnet. C. C.	Hinter Wasser zersetzte CO^2 = 100.
Wasser	6,60	100,0
Orsellin	3,56	53,9
Anilinviolett . .	3,09	46,9
Anilinroth . . .	2,36	35,8

15. Versuch. 12. Juli.

Prunus laurocerasus Blätter, deren Fläche à 20 C. Q. und deren Volumen 1,0 C. C. wurden während 5 Stunden, von 9 Uhr 5″ bis 2 Uhr 5″ exponirt. Während dieser Zeit schien die Sonne theilweise, theilweise war sie mit weissen Wolken bedeckt; vor den Apparaten waren Papierschirme angebracht. Das Thermometer zeigte 26—29 C.

	Vor Exposition.	Nach Exposition.		
	G. Vol. = CO^2 + Luft. C. C.	G. Vol. = CO^2 + Luft. C. C.	V. 20 C. Q. in 5 Std. zersetzte CO^2. C. C.	Differenz der Volumina. C. C.
Wasser . .	69,67 = 7,98 + 61,69	69,50 = 2,61 + 66,89	5,37	— 0,17
Orsellin . .	69,26 = 7,50 + 61,76	69,07 = 4,22 + 64,85	3,28	— 0,19
Anilinviolett	69,97 = 7,32 + 62,65	70,00 = 5,03 + 64,97	2,29	+ 0,03
Anilinroth .	68,41 = 7,23 + 61,18	68,41 = 5,33 + 63,08	1,90	0,00

	Zersetzte CO^2 pro 100 C. Q. und 1 Std. berechnet. C. C.	Hinter Wasser zersetzte CO^2 = 100.
Wasser	5,37	100,0
Orsellin	3,28	61,1
Anilinviolett . .	2,29	42,6
Anilinroth . . .	1,90	35,4

16. Versuch. 14. Juli.

Die Versuchsblätter von Prunus laurocerasus wurden à 22 C. Q. Fläche und 0,9 C. C. Volumen gefunden. Der Himmel war während der fünfstündigen Versuchsdauer, von 9 Uhr 30″ bis 2 Uhr 30″, mit weissen Wolken bedeckt, durch welche stellenweise die Sonne durchbrach. Thermometer 24 bis 30 C.

	Vor Exposition.	Nach Exposition.		
	G. Vol. = CO^2 + Luft. C. C.	G. Vol. = CO^2 + Luft. C. C.	V. 22 C. Q. in 5 Std. zersetzte CO^2. C. C.	Differenz der Volumina. C. C.
Wasser . .	71,80 = 7,77 + 64,03	71,53 = 1,45 + 70,08	6,32	— 0,27
Orsellin . .	71,42 = 7,23 + 64,19	71,34 = 3,56 + 67,78	3,67	— 0,08
Anilinviolett	71,12 = 6,99 + 64,13	71,03 = 4,33 + 66,70	2,66	— 0,09
Anilinroth .	70,61 = 7,07 + 63,54	70,44 = 4,74 + 65,70	2,33	— 0,17

	Zersetzte CO^2 pro 100 C. Q. und 1 Std. berechnet. C. C.	Hinter Wasser zersetzte CO^2 = 100.
Wasser	5,74	100,0
Orsellin	3,34	58,1
Anilinviolett . .	2,42	42,1
Anilinroth . . .	2,12	36,9

17. Versuch. 15. Juli.

Nerium Oleander Blätter von 22 C. Q. Fläche und 0,9 C. C. Volumen wurden von 9 Uhr bis 1 Uhr exponirt. Sonnenschein und von weissen Wolken bedeckter Himmel während der Versuchsdauer. Thermometer 24—28 C.

	Vor Exposition. G. Vol. = CO^2 + Luft. C. C.	Nach Exposition. G. Vol. = CO^2 + Luft. C. C.	V. 22 C. Q. in 4 Std. zersetzte CO^2. C. C.	Differenz der Volumina. C. C.
Wasser . .	71,45 = 7,60 + 63,85	71,41 = 1,05 + 70,36	6,55	— 0,04
Orsellin . .	71,30 = 8,02 + 63,28	71,24 = 4,66 + 66,58	3,36	— 0,06
Anilinviolett	71,62 = 7,41 + 64,21	71,55 = 4,90 + 66,65	2,51	— 0,07
Anilinroth .	71,06 = 7,54 + 63,52	70,93 = 5,23 + 65,70	2,31	— 0,13

	Zersetzte CO^2 pro 100 C. Q. und 1 Std. berechnet. C. C.	Hinter Wasser zersetzte CO^2 = 100.
Wasser	7,44	100,0
Orsellin	3,82	51,3
Anilinviolett . .	2,85	38,3
Anilinroth . . .	2,62	35,3

18. Versuch. 20. Juli.

Oleanderblätter von 22 C. Q. Fläche und 1,0 C. C. Volumen wurden von 8 Uhr 30″ bis 11 Uhr 30″ exponirt. Die Sonne war während der Versuchszeit nur selten durch weisse Wolken verschleiert, die Apparate wurden durch Papierschirme beschattet. Thermometer 26—30 C.

	Vor Exposition. G. Vol. = CO^2 + Luft. C. C.	Nach Exposition. G. Vol. = CO^2 + Luft. C. C.	V. 22 C. Q. in 3 Std. zersetzte CO^2. C. C.	Differenz der Volumina. C. C.
Wasser . .	73,09 = 8,10 + 64,99	73,13 = 0,32 + 72,81	7,78	+ 0,04
Orsellin . .	72,40 = 7,89 + 64,51	72,47 = 3,98 + 68,49	3,91	+ 0,07
Anilinviolett	72,43 = 7,23 + 65,20	72,36 = 4,49 + 67,87	2,74	— 0,07
Anilinroth .	72,35 = 7,76 + 64,59	72,29 = 5,41 + 66,88	2,35	— 0,06

	Zersetzte CO^2 pro 100 C. Q. und 1 Std. berechnet. C. C.	Hinter Wasser zersetzte CO^2 = 100.
Wasser	11,79	100,0
Orsellin	5,92	50,3
Anilinviolett . .	4,15	35,2
Anilinroth . . .	3,56	30,2

19. Versuch. 21. Juli.

Die zum Versuche ausgewählten Oleanderblätter massen 21 C. Q. in der Fläche und verdrängten 1,0 C. C. Wasser. Während der dreistündigen Versuchsdauer von 9 Uhr bis 12 Uhr war der Himmel fast fortwährend von weissen Wolken bedeckt, nur selten brach einmal für Augenblicke die Sonne durch. Thermometer 24 bis 27 C.

	Vor Exposition.	Nach Exposition.		Differenz der Volumina.
	G. Vol. = CO^2 + Luft.	G. Vol. = CO^2 + Luft.	V. 21 C. Q. in 3 Std. zersetzte CO^2.	
	C. C.	C. C.	C. C.	C. C.
Wasser . .	72,31 = 7,29 + 65,02	72,05 = 2,62 + 69,43	4,67	— 0,26
Orsellin . .	71,83 = 8,15 + 63,68	71,45 = 5,91 + 65,54	2,24	— 0,38
Anilinviolett	71,59 = 7,44 + 64,15	71,45 = 5,74 + 65,71	1,70	— 0,14
Anilinroth .	71,90 = 7,70 + 64,20	71,53 = 6,41 + 65,12	1,29	— 0,37

	Zersetzte CO^2 pro 100 C. Q. und 1 Std. berechnet. C. C.	Hinter Wasser zersetzte CO^2 = 100.
Wasser	7,41	100,0
Orsellin	3,55	48,0
Anilinviolett . .	2,70	36,4
Anilinroth . . .	2,05	27,6

20. Versuch. 22. Juli.

Blätter von Tinnantia undata von 18 C. Q. Fläche und 0,7 C. C Volumen wurden von 9 Uhr bis 1 Uhr exponirt. Der Himmel war während der Versuchszeit von grauen und weissen Wolken bedeckt, durch welche dann und wann Sonne durchbrach. Thermometer 23 bis 27 C.

	Vor Exposition.	Nach Exposition.		Differenz der Volumina.
	G. Vol. = CO^2 + Luft.	G. Vol. = CO^2 + Luft.	V. 18 C. Q. in 4 Std. zersetzte CO^2.	
	C. C.	C. C.	C. C.	C. C.
Wasser . .	72,93 = 8,19 + 64,74	73,05 = 2,70 + 70,35	5,49	+ 0,12
Orsellin . .	71,63 = 7,67 + 63,96	71,63 = 4,82 + 66,81	2,85	0,00
Anilinviolett	72,48 = 8,06 + 64,42	72,44 = 6,40 + 66,04	1,66	— 0,04
Anilinroth .	71,88 = 7,63 + 64,25	71,83 = 5,99 + 65,84	1,64	— 0,05

	Zersetzte CO^2 pro 100 C. Q. und 1 Std. berechnet. C. C.	Hinter Wasser zersetzte CO^2 = 100.
Wasser	7,62	100,0
Orsellin	3,96	51,9
Anilinviolett . .	2,31	30,4
Anilinroth . . .	2,28	29,9

Die beiden folgenden Versuche sind in die Mittelzahlen nicht aufgenommen, doch führe ich dieselben hier auf, um alle angestellten Versuche wiederzugeben und mich nicht dem Vorwurf auszusetzen, eine passende Auswahl unter den gewonnenen Zahlen getroffen zu haben. Beim 21. Versuch ist hinter dem Anilinroth excessiv viel CO^2 zersetzt worden, die übrigen Werthe stimmen aber recht gut mit den sonst für die betreffenden Medien gewonnenen Zahlen. Beim 21. Versuch war hinter Wasser alle Kohlensäure zersetzt, berechnet man aber z. B. nach der für Orsellin aus 10 Versuchen gewonnenen Mittelzahl, wie es unten geschehen ist, die procentischen Mengen von Kohlensäure, welche hinter Anilinviolett und Anilinroth zersetzt wurden, so ergeben sich auch hier Werthe, welche innerhalb der Amplitude der sonst für diese Medien gefundenen Zahlen zu liegen kommen. Es wäre also allein der für Anilinroth beim Versuch 21 gefundene Werth, welcher fehlerhaft, offenbar viel zu hoch, ausgefallen ist; eine Ursache hierfür vermag ich nicht anzugeben.

21. Versuch. 6. Juli.

Blätter von Prunus laurocerasus à 24 C. Q. und 1,0 C. C. Volumen wurden von 9 Uhr 15″ bis 12 Uhr 15″ exponirt. Während des dauernden Sonnenscheins waren die Apparate mit Papierschirmen beschattet. Thermometer 24 bis 28 C.

	Vor Exposition.	Nach Exposition.		Differenz der Volumina.
	G. Vol. = CO^2 + Luft. C. C.	G. Vol. = CO^2 + Luft. C. C.	V. 24 C. Q. in 3 Std. zersetzte CO^2. C. G.	C. C.
Wasser . .	73,21 = 7,34 + 65,87	73,12 = 2,29 + 70,83	5,05	— 0,09
Orsellin . .	72,23 = 6,99 + 65,24	72,08 = 4,02 + 68,06	2,97	— 0,15
Anilinviolett	72,70 = 7,37 + 65,33	72,67 = 5,28 + 67,39	2,09	— 0,03
Anilinroth .	71,91 = 7,02 + 64,89	71,77 = 4,09 + 67,68	2,93	— 0,14

	Zersetzte CO^2 pro 100 C. Q. und 1 Std. berechnet. C. C.	Hinter Wasser zersetzte CO^2 = 100.
Wasser	7,01	100,0
Orsellin	4,12	58,2
Anilinviolett . .	2,90	41,4
Anilinroth . . .	4,07	58,0

22. Versuch. 19. Juli.

Die verwandten Oleanderblätter wurden zu 23 C. Q. Fläche und 1,0 C. C. Volumen gefunden. Während der Versuchszeit, von 9 Uhr bis 1 Uhr, war die Sonne nur selten durch weisse Wolken verschleiert, die Apparate waren mit Papierschirmen bedeckt. Temperatur 25—29 C.

	Vor Exposition.	Nach Exposition.		Differenz der Volumina.
	G. Vol. = CO^2 + Luft. C. C.	G. Vol. = CO^2 + Luft. C. C.	V. 23 C. Q. in 4 Std. zersetzte CO^2. C. C.	C. C.
Wasser . .	72,43 = 8,18 + 64,25	72,10 = 0 + 72,12*	?	— 0,33
Orsellin . .	72,81 = 8,10 + 64,71	72,67 = 1,47 + 71,20	6,63	— 0,14
Anilinviolett	72,12 = 7,62 + 64,50	71,73 = 3,99 + 67,74	3,63	— 0,39
Anilinroth .	72,49 = 7,66 + 64,83	72,23 = 4,29 + 67,94	3,37	— 0,26

	Zersetzte CO^2 pro 100 C. Q. und 1 Std. berechnet. C. C.	Hinter Orsellin zersetzte CO^2 = 53,9.
Wasser	?	?
Orsellin	7,21	53,9
Anilinviolett . .	3,94	29,5
Anilinroth . . .	3,66	27,4

*) Diese Zahl berechnete sich aus den Ablesungen nach Zusatz von Kalilauge.

Dritte Versuchsreihe.

Die hier in Anwendung gekommene Lösung von Jod in Schwefelkohlenstoff war so concentrirt, dass auch in direkter Sonne kein sichtbares Licht durchdrang. Die Chlorophylllösung wurde, wie schon früher angegeben, nach den beiden ersten Versuchen durch neue, übrigens ganz gleiche Lösung ersetzt. Im letzten, 27. Versuch, ist aber eine Lösung angewandt, welche an der Sonne bereits eine bräunliche Farbe angenommen hatte.

23. Versuch. 28. Juli.

Blätter von Nerium Oleander à 23 C. Q. Fläche und 1,0 C. C. Volumen wurden von 9 Uhr 45″ bis 12 Uhr 45″ exponirt. Während dieser Zeit war die Sonne nur stellenweisse durch weisse Wolken leicht verschleiert; die Apparate waren mit Papierschirmen bedeckt. Thermometer 25 bis 29 C.

	Vor Exposition.	Nach Exposition.		Differenz der Volumina.
	G. Vol. = CO^2 + Luft. C. C.	G. Vol. = CO^2 + Luft. C. C.	V. 23 C. Q. in 3 Std. zersetzte o. geb. CO^2 C. C.	C. C.
Wasser . .	71,04 = 8,33 + 62,71	71,13 = 1,28 + 69,85	7,05	+ 0,09
Chlorophyll	70,67 = 7,84 + 62,83	70,46 = 6,54 + 63,92	1,30	— 0,21
Jodlösung .	70,61 = 7,53 + 63,08	70,45 = 8,69 + 61,76	*1,16*	— 0,16

	Zersetzte od. geb. CO^2 pro 100 C. Q. u. 1 Std. berechnet. C. C.	Hinter Wasser zersetzte CO^2 = 100.
Wasser	10,22	100,0
Chlorophyll . .	1,88	19,9
Jodlösung . . .	*1,68*	*16,4*

24. Versuch. 29. Juli.

Oleanderblätter von 18 C. Q. Oberfläche und 0,9 C. C. Volumen wurden von 9 Uhr 45″ bis 1 Uhr 45″ exponirt. Der Himmel war mit weissen Wolken bedeckt, durch welche die Sonne dann und wann durchbrach. Thermometer 22 bis 25 C.

	Vor Exposition.	Nach Exposition.		Differenz der Volumina.
	G. Vol. = CO^2 + Luft. C. C.	G. Vol. = CO^2 + Luft. C. C.	V. 18 C. Q. in 4 Std. zersetzte o. geb. CO^2 C. C.	C. C.
Wasser . .	71,44 = 8,12 + 63,32	71,42 = 3,08 + 68,34	5,04	— 0,02
Chlorophyll	70,84 = 7,11 + 63,73	70,92 = 6,58 + 64,34	0,53	+ 0,08
Jodlösung .	70,76 = 6,00 + 64,76	70,71 = 6,56 + 64,15	*0,56*	— 0,05

	Zersetzte od. geb. CO^2 pro 100 C. Q. u. 1 Std. berechnet. C. C.	Hinter Wasser zersetzte CO^2 = 100.
Wasser	7,00	100,0
Chlorophyll . .	0,74	10,5
Jodlösung . . .	*0,79*	*11,1*

25. Versuch. 30. Juli.

Die hier angewandten Oleanderblätter hatten 19 C. Q. Oberfläche und verdrängten 0,8 C. C. Wasser. Während der Versuchszeit von 9 Uhr 30″ bis 1 Uhr 30″ war die Sonne theilweise durch weisse Wolken verschleiert. Thermometer 25 bis 28 C.

	Vor Exposition.	Nach Exposition.		
	G. Vol. = CO^2 + Luft. C. C.	G. Vol. = CO^2 + Luft. C. C.	V. 19 C. Q. in 4 Std. zersetzte o. geb. CO^2 C. C.	Differenz der Volumina. C. C.
Wasser . .	71,83 = 9,06 + 62,77	71,86 = 2,29 + 69,57	6,77	+ 0,03
Chlorophyll	70,98 = 7,07 + 63,91	70,99 = 6,27 + 64,72	0,80	+ 0,01
Jodlösung .	71,41 = 5,59 + 65,82	71,42 = 6,48 + 64,94	*0,89*	+ 0,01

	Zersetzte od. geb. CO^2 pro 100 C. Q. u. 1 Std. berechnet. C. C.	Hinter Wasser zersetzte CO^2 = 100.
Wasser	8,91	100,0
Chlorophyll . .	1,05	11,9
Jodlösung . . .	*1,17*	*13,1*

26. Versuch. 1. August.

Blätter von Prunus laurocerasus von 19 C. Q. Fläche und 0,7 C. C. Volumen wurden während $3^1/_2$ Stunden, von 9 Uhr 30″ bis 1 Uhr exponirt. Während des Versuches schien die Sonne ohne Unterbrechung und waren die Apparate mit Papierschirmen beschattet. Thermometer 25 bis 29 C.

	Vor Exposition.	Nach Exposition.		
	G. Vol. = CO^2 + Luft. C. C.	G. Vol. = CO^2 + Luft. C. C.	V. 19 C. Q. in $3^1/_2$ Std. zersetzte o. geb. CO^2 C. C.	Differenz der Volumina. C. C.
Wasser . .	72,55 = 8,89 + 63,66	72,56 = 2,91 + 69,65	5,98	+ 0,01
Chlorophyll	71,88 = 7,41 + 64,47	71,91 = 6,21 + 65,70	1,20	+ 0.03
Jodlösung .	71,52 = 6,35 + 65,17	71,49 = 7,31 + 64,18	*0,96*	— 0,03

	Zersetzte od. geb. CO^2 pro 100 C. Q. u. 1 Std. berechnet. C. C.	Hinter Wasser zersetzte CO^2 = 100.
Wasser	8,99	100,0
Chlorophyll . .	1,80	20,1
Jodlösung . . .	*1,44*	*16,0*

27. Versuch. 2. August.

Die angewandten Blätter von Prunus laurocerasus massen 20 C. Q. Fläche und verdrängten 0,7 C. C. Wasser. Exponirt wurde von 8 Uhr 50″ bis 12 Uhr 50″, während welcher Zeit die Sonne ohne Unterbrechung schien und die Apparate mit Schirmen bedeckt waren. Thermometer 26 bis 31 C. — Mit Jodlösung wurde hier kein Versuch mehr gemacht.

	Vor Exposition.	Nach Exposition.		
	G. Vol. = CO^2 + Luft. C. C.	G. Vol. = CO^2 + Luft. C. C.	V. 20 C. Q. in 4 Std. zersetzte CO^2. C. C.	Differenz der Volumina. C. C.
Wasser . .	72,07 = 8,23 + 63,84	72,04 = 1,95 + 70,09	6,28	— 0,03
Chlorophyll	72,32 = 7,67 + 64,65	72,28 = 6,59 + 65,69	1,08	— 0,04

	Zersetzte CO^2 pro 100 C. Q. u. 1 Std. be-berechnet. C. C.	Hinter Wasser zersetzte CO^2 = 1 0.
Wasser	7,85	100,0
Chlorophyll . .	1,35	17,2

II.

Studien über Symmetrie und specifische Wachsthumsursachen.

Von

Dr. W. Pfeffer.

Der Thallus von Marchantia ist sowie auch der anderer verwandter Lebermoose streng bilateral ausgebildet. Auf der aus chlorophyllfreien Zellen bestehenden Unterseite des Thallus entstehen Wurzelhaare und zwei Reihen blattähnlicher Lamellen, während die dem Licht zugewandte Oberseite eine scharf differenzirte Epidermis mit eigenthümlichen Spaltöffnungen bildet, die auf der Mitte rautenförmiger Felder stehen, welche über die durch Zellmauern getrennten grossen Luftlücken ausgespannt sind, aus deren Grund chlorophyllhaltige Zellen confervenartig hervorsprossen. [1] Auf der Oberseite des Thallus bilden sich in flachen Körbchen Brutknospen von Gestalt biconvexer Linsen, welche in zwei opponirten Buchten des Randes Vegetationspunkte bergen, aus welchen sich beim Keimen Thallussprosse entwickeln.

In einer bekannten Arbeit über Marchantia zeigte Mirbel, [2] dass beide Seiten der Brutknospen anatomisch wie physiologisch durchaus gleichwerthig sind, aber schon kurze Zeit nach der Aussaat denselben Bilateralität unwiderruflich induzirt ist. Welchen Einfluss äussere Kräfte, wie Licht, Feuchtigkeit, Schwerkraft und Berührung auf die Ausbildung von Ober- und Unterseite und auf die Produktion der Wurzelhaare ausüben, wurde von Mirbel nicht experimentell festgestellt, aber gerade diese Fragen mussten sich an diesen Brutknospen vortrefflich entscheiden lassen.

Ehe ich zu meinen eigenen Untersuchungen übergehe, gebe ich eine kurze Uebersicht über die von Mirbel erhaltenem Resultate, soweit dieselben hier in Betracht kommen. Die physiologische Gleichwerthigkeit beider Brutknospenseiten folgte unwiderruflich daraus, dass bei zahlreichen Aussaaten

---

1) Näheres bei Hofmeister, Vergl. Untersuchungen 1851 p. 49 ff. und Sachs, Lehrbuch 2. Aufl., p. 287, p. 297 u. Fig. 64 auf p. 72.

2) Recherches anatomiques et physiologiques sur le Marchantia polymorpha p. 17 ff. Sptabz. aus mém. de l'acad. d. sciences d. l'institut de France 1835.

immer die dem Substrate aufliegende Seite Wurzelhaare bildete und zur Unterseite, die zenithwärts gewandte hingegen zur Oberseite wurde. Waren aber einmal 24 Stunden nach der Aussaat Wurzelhaare gebildet, so war auch die Bilateralität inhärent geworden, wie Mirbel durch die Umkehrungsversuche zeigte, bei welchen die bisherige Oberseite auf den Sand zu liegen kam, die Unterseite aber, welche bereits Wurzelhaare hervorgebracht hatte, zenithwärts gewandt wurde. Die Wurzelhaare dieser krümmten sich abwärts dem Substrate zu, und während auch die diesem aufliegende einstige Oberseite Wurzelhaare bildete, wuchsen die opponirten Sprosse heran, die mehr und mehr ihre Vorderränder aufwärts bogen und endlich sich rückwärts nebeneinander vorbei, gewissermaassen eine Schlinge bildend umschlugen. Die Seite der heranwachsenden Sprossen also, welche durch Umkehrung zur Unterseite wurde, war jetzt wieder dem Zenith zugewandt und producirte Spaltöffnungen aber keine Wurzelhaare, die nur auf der anderen Seite sich ausbildeten. Oefters kam nur einer der Sprossen an den umgedrehten Brutknospen zur Entwicklung, der sich in gleicher Weise umkehrte. Dieser Vorgang lässt sich am einfachsten durch ein auf dem Tisch liegendes Blatt Papier versinnlichen, welches man an einem Ende festhält und dann aufwärts und rückwärts umschlägt; ausserdem ist aber auch die Umkehrung der heranwachsenden Sprossen bei Mirbel durch wahrhaft künstlerische Abbildungen dargestellt.[1])

Die Bemerkungen, welche Mirbel über die Bedeutung von Beschattung und Feuchtigkeit auf die Erzeugung von Wurzelhaaren und des Lichtes auf Ausbildung der Spaltöffnungen macht, sind eigentlich nur Vermuthungen, welche sich auf beweisende Experimente nirgends stützen. Die hierauf und auf die Ausbildung der Bilateralität bezüglichen Schlüsse lasse ich hier wörtlich folgen:[2]) »La concomitance des faits démontre que si l'ombre et l'humidité favorisent le développement des racines et des nervures, la lumière n'est pas moins utile à la production des stomates. Une autre vérité ressort de mes expériences: s'il est évident que les deux faces d'un jeune bulbille sont en tout point semblables anatomiquement et physiologiquêment parlant, il n'est pas moins que l'action prolongée pendant quelques heures, de la lumière sur une face, et de l'ombre et de l'humidité sur l'autre suffit pour faire évanouir cette ressemblance, et pour fixer irrévocablement l'avenir différent des deux faces, qui dès lors se distinguent très-bien en supérieure et inférieure, non obstant leur position.«

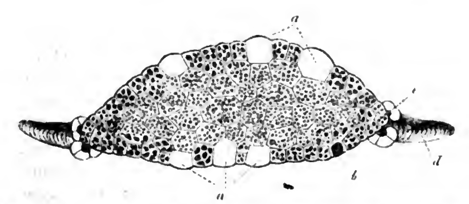
Die Brutknospen bilden sich am Grunde der flachen, auf der Oberfläche des Thallus von Marchantia gelegenen Körbchen, indem sich von einer hervorwölbenden Epidermiszelle zuerst eine Stielzelle abgliedert und die andere Zelle mit wiederholten Theilungen zuerst in zwei, dann in drei

1) L. c., Taf. V, Fig. 41, 42 u. 43.

2) L. c., p. 19.

Richtungen des Raumes weiter wächst.[1]) Ihrem morphologischen Ursprung nach sind also die Brutknospen Trichome, haben aber ausserdem den Werth eines kleinen Thallus, der im ausgebildeten Zustand eine in der Mitte aus mehreren Zellschichten bestehende Scheibe vorstellt mit zwei, rechts und links vom Stiele gelegenen Einbuchtungen, in welchen die beiden Vegetationspunkte liegen. Die aus diesen sich entwickelnden opponirten Sprosse sind wenigstens in Bezug auf die Achse der Brutknospe als Seitensprosse anzusprechen.

Eine eigentliche Epidermis fehlt den Brutknospen, deren Gewebe aus parenchymatischen, ziemlich isodiametrischen und interstitienlos verbundenen Zellen zusammengesetzt wird. Die äusserste Zelllage enthält zahlreiche grosse Chlorophyllkörner (siehe die Fig.), die in den inneren Schichten spärlich werden oder ganz fehlen; alle Zellen aber sind mit feinkörniger Stärke



Senkrecht gegen die Fläche und durch die beiden Vegetationspunkte geführter Schnitt aus einer reifen Brutknospe von Marchantia polymorpha; *a.* die hyalinen zu Wurzelhaaren auswachsenden Zellen; *b.* mit eigenthümlichem Inhalt erfüllte Zelle; *d.* die Flügel der Buchten, in welchen die Vegetationspunkte *e* liegen. Vergrösserung $^{165}/_{1}$.

angefüllt. Einzelne von einer bräunlichen Masse unbekannter Natur erfüllte Zellen (*b.* in d. Fig.), die auch im ausgebildeten Thallus von Marchantia gefunden werden, haben für uns kein weiteres Interesse, um so mehr aber die von farblosem Inhalt erfüllten und von Stärke freien oberflächlichen Zellen (*a*), welche besonders auf dem mittleren Areale beider Seiten der Brutknospen zahlreich vorhanden und gewöhnlich auch durch ihre Grösse ein klein wenig ausgezeichnet sind. Die Wurzelhaare nehmen nämlich allein aus diesen Zellen ihren Ursprung, indem sich dieselben einfach hervorstülpen und zu dem schlauchförmigen Haare heranwachsen. Die Wurzelhaare producirenden Zellen sind also an den Brutknospen schon durch ihren Inhalt ausgezeichnet, wie es auch am Thallus vom Marchantia der Fall zu sein scheint. Auch an den grünen Wurzeln von Hydrocharis morsus ranae dürften die Wurzelhaare wohl nur aus den hyalinen Zellen entspringen,

1) Ausführlich untersucht von Nägeli in Zeitschrft. f. wiss. Bot. von Nägeli u. Schleiden Hft. 2, p. 150. Vgl. auch Sachs Lehrb., 2. Aufl., Fig. 214 auf p. 288.

springen, welche hinter dem Vegetationspunkt zwischen chlorophyllhaltigen liegen. [1])

Es wird vortheilhaft sein Einiges über allgemeine Keimungsbedingungen vorauszuschicken, um bei der Auseinandersetzung der Experimente mich möglichst kurz fassen zu können. Im Dunklen entwickeln die Brutknospen entweder gar keine oder doch nur spärliche Wurzelhaare, welche aber nie bedeutende Länge erreichen und auch später als am Lichte erscheinen. Weiter aber entwickeln sich die Brutknospen, obgleich sie doch eine grosse Menge Stärke enthalten, im Dunkeln in keinem Falle und verhalten sich also ähnlich wie Sporen von Farrenkräutern und Moosen, welche, wie Borodin [2]) zeigte, bei Ausschluss von Licht nicht keimen, obgleich sie mit Reservestoffen angefüllt sind. Die eigenthümliche mattgrüne Farbe, welche die Brutknospen bald nach Verfinsterung annehmen, rührt von der hier sehr ausgesprochenen Wanderung der Chlorophyllkörner auf die Seitenwände der Zellen her. Im diffusen Tageslicht entwickeln sich die Wurzelhaare wohl immer, aber das Heranwachsen der Seitensprosse erfolgt sehr viel langsamer, als bei genügender Beleuchtung. Es tritt dieses besonders auffallend hervor, wenn an einem vertikal gestellten Torfstückchen die dem Fenster zugewandte und abgewandte Seite gleichzeitig besäet wird.

Aber auch wenn in genügendem Maasse Feuchtigkeit und Beleuchtung geboten werden, so zeigt sich doch die Zeit bis zu welcher Wurzelhaare erscheinen, von der Temperatur sehr abhängig. Für diese Minimum, Maximum und Optimum kennen zu lernen lag nicht in meiner Absicht, und so mögen nur einige ganz allgemeine Angaben hier Platz finden. Abgesehen davon, dass auch die aus demselben Körbchen entnommenen Brutknospen sich mit ungleicher Schnelligkeit entwickeln, vergingen bei 14 bis 18° C. meist 4 bis 5 Tage, ehe die ersten Wurzelhaare zum Vorschein kamen, während dieselben bei Temperaturen über 20 C. wohl immer in 2 Tagen, ja bei besonders warmen Wetter sogar in 24 Stunden an einem Theil der ausgesäeten Brutknospen wenigstens, gebildet waren. Ebenso ist die weitere Entwicklung der Brutknospen neben der Beleuchtung in hohem Grade von der Temperatur abhängig, im günstigsten Falle waren Spaltöffnungen auf der Oberseite der heranwachsenden Seitensprosse 7 Tage nach der Aussaat gebildet. Bei der Mehrzahl meiner Versuche kamen Wurzelhaare nach $1\frac{1}{2}$ bis 2 Tagen, Spaltöffnungen nach 10 bis 14 Tagen zum Vorschein.

Während bei den in gewöhnlicher Lage angestellten Aussaaten nur auf der dem Substrat aufliegenden Seite Wurzelhaare erscheinen, werden diese

1) An den Wurzeln von Lycopodien bilden sich die Wurzelhaare aus keilförmigen Zellen, welche an der grundsichtigen Seite der Epidermiszellen abgeschnitten werden. Nägeli u. Leitgeb, Beiträge z. wiss. Bot. Hft. IV, p. 124 in Taf. XVII, Fig. 8 u. 9.

2) Melang biolog. tires d. Bull. d. l'Academ. d. St. Petersbourg, 1867, T. VI, p. 534 ff.

auf beiden Seiten gebildet, wenn die dem Substrate anliegende Seite der Brutknospe die zenithwärts, die freie die aufwärts gewandte Seite ist. Zu solchen Aussaaten benutzte ich mit Vortheil Feuchtkammern denen ähnlich, welche Hoffmann[1]) bei seinen Keimungsversuchen mit Pilzsporen anwandte. Es bestehen dieselben aus zwei grossen Objektträgern von etwa 100 bis 110 Mm. Länge und 50 bis 60 Mm. Breite und einem ebenso grossen dicken Pappdeckel, aus welchem ein rechteckiger Raum von etwa 50 Mm. Länge und 30 Mm. Breite weggenommen und ausserdem noch eine schmale Rinne ausgeschnitten ist, welche von dem rechteckigen Fenster zu einer der schmalen Seiten führt. Eine der Glasscheiben ist auf einer Seite mit schwarzem Papier überklebt oder mit schwarzem undurchsichtigem Lack überzogen, auf die andere Seite derselben wird ein Stück angefeuchtetes graues oder weisses Fliespapier gelegt, der ausgeschnittene und zuvor mit Wasser durchtränkte Pappdeckel aufgesetzt und auf die durchsehende rechteckige Papierfläche die Aussaat der Brutknospen gemacht. Nun deckt man auf die andere Seite des Pappdeckels die zweite Glasscheibe und hält die Feuchtkammer durch umgelegte Fäden oder Kautschuckbänder fest zusammen. Der Apparat wird nun, die schwarze Glastafel nach oben, hinter einem Fenster und zwar hoch über dem Fensterbrett und dicht hinter die Glasscheiben postirt, zu welchem Zwecke ich denselben auf eine aus starkem Eisendraht zusammengebogene Gabel lege, die selbst an einem Holzstab befestigt ist, welcher durch eine Klammer festgehalten wird. Zwischen Pappdeckel und Papier der Feuchtkammer klemme ich noch einen Saugdocht, welchen ich mit dem anderen Ende in ein mit Wasser angefülltes Glas, das an den Holzstab angehängt wird, tauchen lasse. So ist auch für genügende Feuchtigkeit immer gesorgt, während Luftwechsel durch die eingeschnittene Rinne stattfindet. Um der erdwärts gewandten Seite der Brutknospen möglichst viel Licht zuzuwenden, gebe ich dem Apparat eine etwas geneigte Lage, so dass er einen nach dem Fenster zu geöffneten Winkel von etwa 20 Graden mit dem Horizont bildet. Dass die so gebotene Beleuchtung genügend ist, hierfür ist das schöne Gedeihen der Brutknospen ein sicheres Reagens, da wie schon gesagt, die Entwicklung im stark diffusem Tageslicht nur langsam fortschreitet.

In solchen Feuchtkammern wurden sechs Aussaaten, je mit 30 bis 40 Brutknospen vorgenommen, die immer zu gleichem Resultat führten; sowohl auf der dem Papier anliegenden, als auch auf der der Erde zugewandten und beleuchteten Seite der Brutknospe erschienen gleichzeitig zahlreiche Wurzelhaare. Ganz gleicher Erfolg wurde aber auch erzielt, wenn statt der oberen einseitig verdunkelten Glasplatte eine durchsichtige genommen und die Aussaat der Brutknospen nicht auf Papier, sondern direkt auf die innere Glaswand vorgenommen wurde. Brachte ich aber Brutknospen auf

1) Jahrb. f. wiss. Botanik, Bd. 2, p. 298.

die untere Glastafel, gleichviel ob die obere verdunkelt oder durchsichtig war, so trieben jene immer nur auf einer, der erdwärts gerichteten und beleuchteten Seite Wurzelhaare, während die andere dem Zenith zugewandte und keinem Substrat anliegende Seite keine produzirte.

Aus diesen Versuchen folgt also, wie es auch andere Experimente bestätigen werden, dass das Licht dem Hervorwachsen der Wurzelhaare kein Hinderniss ist. Ein etwaiger Einwand, dass das Heranwachsen der Wurzelhaare zur Nachtzeit geschehen sei, wird aber unwiderruflich durch folgendes zweimal wiederholtes Experiment beseitigt. In eine Feuchtkammer wurden Abends Brutknospen ausgesäet und jene mit ihrer geschwärzten Glastafel auf einen Tisch gelegt, so dass also über Nacht die dem Papier nicht anliegenden Seiten der Brutknospen zenithwärts gerichtet waren. Früh Morgens, bis wohin von Wurzelhaaren noch nichts zu merken war, wurde nun der Apparat hinter einem Fenster in umgekehrte Stellung gebracht und an einem besonders warmen Tage hatte ein Theil der Brutknospen schon bis zum Abend Wurzelhaare, aber immer wieder auf beiden Seiten gebildet. Abends wurde die Feuchtkammer wieder wie zuerst auf einen Tisch gelegt, um am nächsten Morgen von Neuem in umgekehrter Lage, die freie Seite der Brutknospen nach unten gewandt, auf die Drahtgabel gebracht zu werden. An diesem zweiten Tage hatte auch der Rest der Brutknospen auf beiden Seiten Wurzelhaare getrieben, die, wie wir aber wissen, auf der zenithwärts gewandten Seite, wenn diese keinem Substrate anliegt, nicht gebildet werden. Dahingegen kommen auch an dieser, wie die eben angeführten Experimente zeigen, immer dann Wurzelhaare zum Vorschein, wenn dieselbe mit einem Substrate in Berührung steht, während die der Erde zugewandte Seite unter allen Umständen, gleichviel ob einem Substrate anliegend oder nicht, Wurzelhaare treibt; selbstverständlich nur dann, wenn die zur Entwicklung nothwendigen Bedingungen, wie Feuchtigkeit und Wärme gegeben sind.

Wir sehen also unter dem alleinigen Einfluss einer vertikal abwärts wirkenden Kraft Wurzelhaare hervorwachsen, und dass diese Kraft nur die Gravitation sein kann, folgt auch aus den noch mitzutheilenden, im Centrifugalapparat angestellten Versuchen. Ferner zeigen die obigen Experimente, dass auch durch Berührung mit einem Körper eine Kraft gewonnen wird, welche für sich allein im Stande ist, die Produktion von Wurzelhaaren an der berührten Seite zu veranlassen; denn, wie wir wissen, erscheinen diese nur dann an der zenithwärts gewandten Brutknospenseite, wenn diese einem Substrate anliegt. Da ein gleiches Resultat erzielt wurde, wenn die obere Platte unserer Feuchtkammer aus durchsichtigem Glase bestand, auf welches unmittelbar ausgesäet wurde, so kann die Verdunkelung der oberen Brutknospenseite keine Ursache sein, und zudem wissen wir ja auch, dass Licht das Hervorwachsen von Wurzelhaaren nicht hindert. Ebenso wenig kann die Veranlassung zur Wurzelhaarbildung auf der Zenithseite in dem

Wasser liegen, welches sich in flüssiger Form zwischen Brutknospe und Substrat ansammelt, denn auch auf der erdwärts gewandten und freien Seite erscheinen Wurzelhaare, und zudem zeigen weiterhin mitzutheilende Versuche, dass, wie auch bei Ranken und schlingenden Stämmen, die Berührung mit Wasser nicht wie die mit einem soliden Körper wirkt.

Die Schlüsse, welche sich aus den in den Feuchtkammern mit mehr als 250 Brutknospen und immer mit entsprechendem Resultate angestellten Experimenten mit Sicherheit ableiten lassen, sind also, um es hier noch einmal zu wiederholen, folgende: durch Beleuchtung wird das Hervorwachsen von Wurzelhaaren auf der von Licht getroffenen Seite in keiner Weise verhindert, und ferner: sowohl unter der alleinigen Wirkung der Erdschwere, wie auch unter der alleinigen Wirkung des Contaktes mit einem soliden Körper werden Wurzelhaare aus den Brutknospen von Marchantia hervorgelockt, wenn nur gewisse nothwendige Keimungsbedingungen, genügende Feuchtigkeit, Temperatur und auch Beleuchtung dargeboten sind. Schon aus den obigen Versuchen zog ich diese in der That damit völlig erwiesenen Schlüsse, um andere bestätigende Experimente nun um so bequemer und fasslicher darstellen zu können.

Die folgenden Versuche wurden in einem vortrefflichen, im hiesigen Laboratorium befindlichen Centrifugalapparat angestellt, welcher durch ein Uhrwerk in Bewegung gesetzt wird. Aus Torf, wie er zu Culturen angewandt wird, wurden drei gleichgrosse Stückchen von etwa 30 Mm. Breite, 20 Mm. Höhe und 10 Mm. Dicke geschnitten und nach dem Anfeuchten je eine der breiten Seiten mit 30 bis 40 Brutknospen von Marchantia besäet. Auf eine kreisförmige Korkscheibe wurden zwei Torfstückchen in vertikaler Stellung befestigt, und zwar so, dass bei dem einen die besäete Seite nach innen, bei dem anderen nach aussen gewandt, bei beiden aber vom Centrum der Scheibe etwa gleichweit, 40 Mm., entfernt war; das dritte Torfstückchen kam in horizontale Stellung, die besäete Seite zenithwärts gewandt. Nachdem die Korkscheibe mit Wasser durchtränkt und über dieselbe ein gut anschliessendes cylindrisches Glasgefäss gedrückt war, wurde die Scheibe auf der vertikalstehenden Axe des Centrifugalapparates befestigt, so dass sie in horizontale Rotation versetzt wurde. Der Apparat lief ohne Unterbrechung vom Morgen des 15. bis zum Morgen des 18. Mai's mit 6 Drehungen in der Secunde, was bei einer Rotationsaxe von 40 Mm. einer Centrifugalkraft von ziemlich genau 57 Meter entspricht. Bereits nach $4\frac{1}{2}$ Tagen hatten die Brutknospen bei einer Zimmertemperatur von 20 bis 24 C. Wurzelhaare getrieben, und nach 3 Tagen, bei Beendigung des Versuches, waren auch die entwicklungsfähigen Sprosse schon merklich herangewachsen.

Bei dem Torfstückchen, dessen besäete Fläche dem Rotationsmittelpunkt zugewandt war, wirkte also Centrifugalkraft und Contakt auf die gleiche, radial nach aussen gewandte Seite, und ganz allein auf dieser hatten sich Wurzelhaare gebildet. Hingegen waren bei den anderen Torfstückchen,

wie zu erwarten war, auf beiden Brutknospenseiten Wurzelhaare hervorgewachsen; denn hier lag die der Rotationsaxe zugewandte Seite der Knospen dem Substrate an, während die nach aussen gekehrte Seite unter dem Zuge der an die Stelle der Erdschwere getretenen Schleuderkraft stand. Bei diesem Versuche befanden sich also die Brutknospen in einer analogen Situation, wie die in den Feuchtkammern auf die Innenseite der zenithwärts gekehrten Platte ausgesäeten. Die auf dem dritten Torfstückchen ausgesäeten Brutknospen lagen mit ihrer erdwärts gewandten Seite dem Substrate auf und hatten auch, ganz der Erwartung gemäss, allein auf dieser Wurzelhaare produzirt.

Nicht weniger belehrend ist der folgende Versuch. Auf angefeuchtetes Papier, welches auf einen Objektträger ausgebreitet war, wurden etwa 40 Brutknospen gesäet und nun auch deren aufwärts gekehrte Seite mit einem anderen Stück sehr dünnen Fliespapiers bedeckt und dieses ganz sanft angedrückt; durch einen aufgelegten, mit dem anderen Ende in Wasser tauchenden Streif Fliespapier wurde für beständige Feuchtigkeit gesorgt. Nach zwei Tagen hatten beide Seiten der Brutknospe, die nach unten gewandte also unter gleichsinniger Wirkung von Contakt und Schwere, die obere unter dem Einfluss des Contaktes Wurzelhaare gebildet. Bei einer anderen gleichzeitig in gewöhnlicher Weise auf Papier gemachten Aussaat, welche mit der vorigen unter derselben Glocke gestanden hatte, waren nach zwei Tagen nur auf der dem Substrat anliegenden Unterseite Wurzelhaare hervorgewachsen.

Vertikal gestellte Brutknospen (d. h. die grösste Medianebene senkrecht) trieben immer auf beiden, der dem Substrat anliegenden und freien Seite Wurzelhaare, sowohl bei Aussaaten, welche auf Torfstückchen, als bei anderen, welche in der früher beschriebenen Feuchtkammer angestellt wurden. Auch hier zeigte sich wieder sehr schön, dass Beleuchtung das Hervorwachsen der Wurzelhaare nicht verhindert, denn diese waren auf beiden Seiten der Brutknospe in gleicher Ueppigkeit gebildet, wenn auch die freie Seite den direkten Sonnenstrahlen ausgesetzt wurde. Gleicher Erfolg wurde auch erzielt, wenn beide Seiten der vertikal gestellten Brutknospe beleuchtet wurden. Diese Experimente sind bequem mit einer aus zwei durchsichtigen Glastafeln zusammengestellten Feuchtkammer anzustellen, indem man die Brutknospen direkt auf die Glaswände aussäet und die Kammer senkrecht und rechtwinklig gegen eine Fensterscheibe aufstellt.

Während das Hervorwachsen der Wurzelhaare auf der dem Substrat anliegenden Seite ohne weiteres als Wirkung des Contaktes verständlich ist, kann hier die Schwerkraft allein die Produktion von Wurzelhaaren auf der freien Seite nicht erklären.

Die beiden Seiten der Brutknospen sind bekanntlich von sanft gewölbten Flächen begränzt und wenn ein jener trennender Medianschnitt genau senkrecht steht, so wirkt der Zug der Schwere, wenn auch unter sehr

spitzem Winkel angreifend, nur auf die untere Hälfte der Brutknospenseite zu Gunsten der Wurzelhaarproduktion, während auf der oberen Hälfte die Gravitation dem Herauswachsen der Wurzelhaare sogar ein Hinderniss sein muss, wenn eine solche hemmende Wirkung der Erdschwere überhaupt zukommt. Die folgenden Experimente werden hier Aufklärung geben.

Auf Papier, welches über Glastafeln ausgebreitet war, säete ich Brutknospen, mit besonderer Sorgfalt die grösste Medianebene dem Substrate parallel legend und neigte die Glasplatten in einem mit etwa 20 Grad nach dem Zenith geöffneten Winkel gegen die Vertikale. In dieser Lage festgehalten brachte die bei weitem überwiegende Zahl der Brutknospen auf beiden Seiten Wurzelhaare hervor, doch waren diese öfters augenscheinlich spärlicher auf der freien als auf der anderen Seite gebildet, und bei etwa 8 Procent der Aussaat (es wurden 3 Aussaaten mit zusammen ungefähr 100 Brutknospen gemacht) fehlten Wurzelhaare auf der dem Substrat nicht anliegenden Seite gänzlich. Bei anderen, in gleicher Weise angestellten Aussaaten steigerte ich die Neigung der Glasplatten auf etwa 45 Grad, und dann kamen bei höchstens dem zehnten Theil der angewandten Brutknospen (bei 4 Aussaaten mit etwa 140 Brutknospen) und bei diesem auch nur spärliche Wurzelhaare auf der freien, aufwärts gewandten Seite zum Vorschein. Alle diese Aussaaten wurden gegen ein Ost- oder Südfenster gerichtet unter einer Glasglocke gehalten und dem Papier durch einen aufgelegten, mit dem anderen Ende in Wasser tauchenden Papierstreifen fortwährend Feuchtigkeit zugeführt.

Auf der freien Seite vertikal gestellter Brutknospen werden also sehr zahlreiche Wurzelhaare gebildet, während bei horizontaler Lage auf der zenithwärts gewandten Seite gar keine zum Vorschein kommen. Diese Fakta und die Resultate, welche bei Aussaaten auf Glasplatten, die 20 oder 45 Grad gegen die Vertikale geneigt waren, erhalten wurden, zwingen zu folgendem, mit allen Thatsachen in völligem Einklang stehenden Schluss: Sind die nothwendigen Keimungsbedingungen gegeben, so wird in den Brutknospen selbst eine Kraft erzeugt — sie wird ferner »eigene Kraft« genannt werden — welche bestrebt ist, die hyalinen Zellen zu Wurzelhaaren auswachsen zu machen, dieses Bestreben aber wird durch die Erdschwere überwältigt, wenn diese mit überwiegender Energie der Wachsthumsrichtung entgegenwirkt.

Diese eigene Kraft wollen wir uns als eine zu den, an Punkten der convexen Flächen der Brutknospen angelegten Tangenten rechtwinkelige und nach Aussen wirkende vorstellen. Diese wird dann an Brutknospen, welche in einem zenithwärts geöffneten Winkel gegen die Vertikale geneigt sind, das Hervorwachsen von Wurzelhaaren nicht mehr veranlassen können, wenn die aus der eignen Kraft und der Schwerkraft resultirende Diagonalkraft mit der Tangente eines Punktes zusammenfällt, oder einen spitzeren Winkel als diese mit dem Erdradius bildet. Jedenfalls ist die in den Brutknospen

entwickelte Kraft, vermöge welcher Wurzelhaare hervorgetrieben werden, wesentlich geringer als die Wirkung der Schwere, da bei horizontaler Lage der Brutknospen Wurzelhaare auf der Oberseite gar nicht mehr gebildet werden und deren Produktion auch schon bei einer Neigung von 45 Grad gegen das Loth fast ganz aufgehoben ist.

Auch in dem Centrifugalversuch finden unsere obigen Schlüsse ihre Bestätigung, denn hier, wo die Gravitation zum grössten Theil durch eine horizontal wirkende Schleuderkraft überwogen wird, wuchsen auch bei den vertikal gestellten Brutknospen auf der freien, dem Rotationscentrum zugewandten Seite keine Wurzelhaare aus. Welcher Art diese eigene Kraft ist, und wie sie in den Brutknospen entwickelt wird, berührt hier natürlich nicht und ist überhaupt eine Frage, die eben so wenig zur Zeit einer Beantwortung fähig ist, wie etwa die Causalität der Neubildung oder des Hervorwachsens beliebiger Organe.

Die eben und bereits früher gezogenen Schlüsse stehen durchaus nicht in einem Widerspruch. Durch Berührung mit einem soliden Substrate wird eben wieder eine Kraft gewonnen, welche mindestens im Stande ist die hemmende Wirkung aufzuheben, welche die Erdschwere dem Heranwachsen der Wurzelhaare auf einer zenithwärts gewandten Brutknospenseite entgegensetzt. Ausserdem muss die Erdschwere aber auch, wenn sie die eigene Kraft unterdrücken kann, bei gleichsinniger Wirkung das Hervorwachsen der Wurzelhaare befördern.

Nur bei einem mit etwa 40 Brutknospen angestellten Versuche, einer Aussaat auf Papier, hatten sich bei nur 6 Brutknospen einige ganz vereinzelte Wurzelhaare auf der zenithwärts gewandten und freien Seite gebildet. Wenn ich hierfür auch keinen Grund anzugeben vermag, so ist doch diese vereinzelte Ausnahme bedeutungslos, da bei etwa 500 in horizontaler Lage cultivirten Brutknospen die freie Oberseite stets ohne Wurzelhaare blieb.

Auf Wasser schwimmende Brutknospen treiben ebenso schnell wie bei anderen Aussaaten Wurzelhaare und, wie es ja auch anders nicht zu erwarten war, allein auf der unteren Seite. Wichtig aber ist, dass auch dann nur auf der Unterseite Wurzelhaare zum Vorschein kommen, wenn die Brutknospen mit einer Wasserschicht bedeckt sind. Ich stellte diese Experimente mit flachen Uhrschalen an auf deren angefeuchtete Innenwand ich die auszusäenden Brutknospen brachte und nun das Wasser fast völlig verdunsten liess. Die Brutknospen haften jetzt fest genug an den Glaswänden, um ruhig liegen zu bleiben, wenn man das Uhrschälchen vorsichtig mit Wasser anfüllt, was am besten geschieht indem man ein Glasstäbchen auf den Grund der Schale setzt und das Wasser an diesem herabrinnen lässt. Uebrigens bleibt auch dann immer eine Anzahl Brutknospen auf dem Grunde des Schälchens liegen, wenn man dieselben mit einer Messerspitze plötzlich unter Wasser führt.

Auch unter einer wenige Millimeter hohen Wasserschicht kommen die Wurzelhaare ebenso schnell wie sonst zum Vorschein, aber wie gesagt immer nur auf der erdwärts gewandten Seite. Dass diese auch der Glaswand anliegt, ist gleichgültig, da dieselbe ohnehin unter der Wirkung der Schwere Wurzelhaare getrieben haben würde. Aus diesen Versuchen folgt also ganz unwiderleglich, dass die Berührung mit Wasser nicht wie die mit einem soliden Körper wirkt, was nach DARWIN[1]) auch in gleicher Weise für reizbare Ranken gilt. Uebrigens muss das Uhrschälchen, in welchem eine Aussaat vorgenommen wird, vor Erschütterungen gehütet werden, damit nicht durch Umkippen von Brutknospen Täuschungen veranlasst werden.

Es würde überflüssig sein, speziell die mit Wasseraussaaten angestellten Experimente aufzuführen, welche gleichfalls wieder zeigen, dass das Hervorwachsen der Wurzelhaare, auch wenn die betreffende Seite beleuchtet ist, nicht beeinträchtigt wird. Die Versuche führten stets zu gleichem Resultat, wenn die Uhrschale unten verdunkelt war, oder wenn durch einen Spiegel reflektirtes Licht von unten her in das Wasser fiel, wobei es wieder gleichgültig war, ob auch von oben Licht zutrat, oder ob das Uhrschälchen mit einer geschwärzten Platte überdeckt war.

Im Dunklen treiben die Brutknospen von Marchantia, wie ich schon früher sagte, immer nur theilweise oder auch gar nicht Wurzelhaare, auch kamen diese in der Regel um etwa einen Tag später zum Vorschein, als an gleichzeitig gemachten und bei gleicher Temperatur gehaltenen Aussaaten, welche dem Licht ausgesetzt waren. Bei einigen, wo gleichzeitig auf Wasser und Papier oder Torf ausgesäet und mit demselben schwarzen Recipienten verdunkelt wurde, trieb auf dem Wasser eine relativ entschieden grössere Anzahl von Brutknospen Wurzelhaare als auf den anderen genannten Substraten, doch dürfte dieses wohl ein zufälliges Zusammentreffen gewesen sein, und so habe ich auch die Sache nicht weiter verfolgt. Im übrigen gelten im Dunkeln, wenn überhaupt Wurzelhaare gebildet werden, für deren Erscheinen die gleichen Gesetze, wie wir sie bei Culturen am Licht kennen gelernt haben. Auch hier bildete die zenithwärts gewandte Seite der Brutknospen nur dann Wurzelhaare, wenn sie einem Substrate anlag, und bei vertikaler Stellung erschienen dieselben gleichfalls auf beiden Seiten der Brutknospe.

Es sei hier noch bemerkt, dass auch die durch zu den Flächen senkrechte Schnitte in zwei oder drei Stücke zerlegten Brutknospen Wurzelhaare, ja zuweilen schneller als die unversehrten Knospen treiben. Ferner will ich hier ein Experiment wenigstens erwähnen, das, wie es zu erwarten war, zeigt, dass Brutknospen, um sich weiter entwickeln zu können, nothwendig flüssiges Wasser aufnehmen müssen. Etwa 50 Brutknospen blieben auf trockenem Papier liegend in einem völlig dampfgesättigten Raum

1) Ueber die Bewegung von Schlingpflanzen. Im Auszug in Flora 1866, p. 323.

während 12 Tagen hinter dem Nordfenster eines Zimmers stehen, dessen Temperatur während dieser ganzen Zeit nur zwischen 19 und 21 C. schwankte, ohne dass irgend ein Wurzelhaar zum Vorschein gekommen wäre, obgleich die Brutknospen nur sehr wenig von ihrem Turgor eingebüsst hatten. Als nach dieser Zeit das Papier durch Wasser feucht gehalten wurde, waren nach zwei Tagen hinter demselben Fenster Wurzelhaare hervorgewachsen.

Liegt die Unterseite einer Brutknospe einem Substrate auf, so wirken auf jene Schwerkraft und Contakt zusammen, während wenn die zenithwärts gewandte Seite einem Substrate anliegt, die Wurzelhaare auf dieser Seite der Brutknospe unter dem alleinigen Einfluss der Berührung hervorwachsen. Es war nun möglich, dass die Wurzelhaare unter der combinirten Wirkung von Gravitation und Contakt schneller erschienen, als wenn eine dieser Kräfte allein thätig war. Eine Anzahl dieser Frage halber angestellte Versuche, bei welchen die Brutknospen auf die erdwärts oder zenithwärts gewandte Seite von Torfstückchen oder auf Papier gesäet wurden, führten aber zu keinem Resultate, da bald hier, bald dort zuerst Wurzelhaare erschienen, was ich übrigens im Voraus erwartet hatte, da selbst die aus demselben Becher genommenen Brutknospen individuelle Verschiedenheiten in Betreff der Zeit, welche bis zum Hervorwachsen von Wurzelhaaren verstreicht, zeigen und es sich in unserem Falle jedenfalls nur um sehr kleine Zeitdifferenzen handeln konnte. Wenn auf beiden Seiten derselben Brutknospe Wurzelhaare produzirt werden, so scheinen diese immer beiderseitig gleichzeitig aufzutreten, sowohl wenn die dem Zenith zugekehrte Seite unter der Wirkung des Contaktes Wurzelhaare treibt, als auch, wenn die Aussaat auf die vertikal gestellte Fläche eines Substrates gemacht wird.

Nachdem bis hierher ausschliesslich das Hervorwachsen der Wurzelhaare behandelt wurde, wende ich mich jetzt zur Betrachtung des Einflusses elementarer Kräfte auf die weitere Entwicklung der Brutknospen. Die Wurzelhaare sind sehr stark negativ heliotropisch und krümmen sich stets, gleichviel ob sie in vertikaler oder horizontaler Richtung hervorwachsen, sehr stark convex gegen einfallende Lichtstrahlen. Wachsen die Wurzelhaare in die freie Luft hinein, so erreichen sie wohl die zwei- bis vierfache Länge des grössten Durchmessers einer reifen Brutknospe, collabiren aber früher oder später, wenn sie nicht durch Rückwärtskrümmung das Substrat erreichen, welchem die andere Seite der Brutknospe anliegt. Wenn sie auch hierbei durch den starken negativen Heliotropismus sehr unterstützt werden, so gelingt es doch z. B. bei Aussaaten, wo die erdwärts gewandte Seite der Brutknospen frei ist, den deren mittlerem Areale entspringenden Wurzelhaaren gewöhnlich nicht, sich bis zum Substrate zurückzukrümmen, während dieses von den näher an den Seitenrändern hervorwachsenden Wurzelhaeren in der Regel erreicht wird. Letzteren kommt hierbei auch

zu Statten, dass schon ihre anfängliche Wachsthumsrichtung senkrecht auf den dem Ursprungsort angelegten Tangenten, aber in einem spitzen, nach dem nächsten Punkt der Peripherie der Brutknospen geöffneten Winkel auf dem Substrate steht.

Es folgt ohne weiteres aus der energischen Rückwärtskrümmung der in freier Luft senkrecht abwärts wachsenden Wurzelhaare, dass der negative Heliotropismus den Geotropismus weit überwiegt, der indess auch, wie folgender Versuch zeigt, die Wachsthumsrichtung der Wurzelhaare beeinflusst. Es wurden Brutknospen, deren Wurzelhaare gerade abwärts gewachsen waren, in umgekehrte Lage auf zwei mit feuchtem Papier bedeckte Objektträger vertheilt und einer dieser unter eine hinter einem Ostfenster stehende Glasglocke, der andere unter einen daneben postirten schwarzen Recipienten gebracht. Die aufwärts gerichteten Wurzelhaare hatten sich schon nach 8 Stunden, von 10 Uhr Morgens bis 6 Uhr Nachmittags, unter dem Einfluss der Beleuchtung eines hellen Tages stark negativ heliotropisch gekrümmt, und im Verlauf des nächsten Tages standen sie wie ein Kamm vom Licht hinweg, nach dem Inneren des Zimmers gekehrt. Auch bei den anderen Brutknospen standen, als sie ins Dunkle gebracht wurden, die Wurzelhaare wie ein Federbusch in die Luft, nach Verlauf von 8 Stunden waren aber deren Enden schwach hakenförmig abwärts gekrümmt; die Krümmungsebene war bei der divergenten Stellung der Wurzelhaare fast ausnahmslos radial nach aussen gerichtet. Diese Beugung, welche fast ausschliesslich an einer in einiger Entfernung hinter dem Wurzelhaarende liegenden, jedoch nicht zu beschränkten Zone stattfindet, hatte nach ferneren 12 Stunden noch merklich zugenommen; weiter liessen sich die Versuche indess nicht ausdehnen, da schon nach dieser Zeit der Turgor an einzelnen Wurzelhaaren merklich gelitten hatte.

Aus diesen Versuchen, die dreimal mit gleichem Erfolg wiederholt wurden, geht also hervor, dass die aufsteigende Wachsthumsrichtung durch die Schwerkraft abgelenkt wird, mit einer Kraft, die indess durch den negativen Heliotropismus vollständig überwunden wird.

Zu den Versuchen nahm ich Brutknospen, welche auf Wasser schwimmend cultivirt worden waren, und deren Wurzelhaare etwa die zwei- bis dreifache Länge der Brutknospen erreicht hatten. Nimmt man die Culturen in geschwärzten Uhrschälchen vor, so wachsen die Wurzelhaare recht schön geradlinig abwärts, und eine Umkehrung ist ohne jede Verletzung möglich, indem man über einen Objektträger gespanntes Fliespapier bis an die Oberfläche des Wassers bringt und behutsam wieder in die Höhe nimmt. Die Brutknospen bleiben dann zum grossen Theil mit ihrer zuvor aufwärts gewandten Seite auf dem Papier hängen, und es bedarf nur noch einer Durchmusterung, um hier und da in der Lage nachzuhelfen und unbrauchbare Objekte zu entfernen.

Alles bis dahin über die Produktion von Wurzelhaaren Gesagte bezog sich wohl gemerkt nur auf die Brutknospe selbst, nicht aber auf die sich entwickelnden opponirten Seitensprosse. Bei diesen wird unter allen Umständen, welches auch immer ihre Stellung sein mag, die beleuchtete Seite zur Oberseite und produzirt niemals Wurzelhaare, auch wenn sie erdwärts gewandt ist oder auf einem Substrate gewaltsam festgehalten wird. Bei weiterem Heranwachsen der Seitensprosse weichen bald unter der Epidermis liegende Zellen auseinander, und im günstigsten Falle nach 8, bei meinen meisten Experimenten nach 10 bis 15 Tagen haben sich wie an jedem Thallus von Marchantia die rautenförmigen, durch Zellmauern getrennten Luftlücken und über denselben die bekannten merkwürdigen Spaltöffnungen gebildet. Nur an dem zuerst gebildeten Theil der Seitensprosse unterbleibt die Bildung von Luftlücken und Spaltöffnungen, nichtsdestoweniger ist indess auch hier die Oberseite unfähig Wurzelhaare zu produziren, welche allein, wie auch die Blattlamellen, auf der Unterseite zum Vorschein kommen.

Die eigentliche Brutknospe nimmt zwar durch Dehnung und vielleicht auch Theilungen (ich achtete nicht hierauf) der Zellen erheblich an Grösse zu, aber die Zellen bleiben immer interstitienlos verbunden und eine anatomisch oder physiologisch ausgezeichnete Ober- und Unterseite wird nicht gebildet. Dreht man Brutknospen, deren Seitensprosse eben Spaltöffnungen entwickelt hatten, um, so dass nun die früher zenithwärts schauende Seite dem Substrate aufliegt, so werden auf dieser, soweit das Areal der eigentlichen Brutknospe reicht, auch jetzt noch Wurzelhaare gebildet, während die Oberseite der Sprossen, auch die ältesten keine Spaltöffnungen bildenden Partien, immer frei von Wurzelhaaren bleiben. Wenn freilich die Seitensprosse schon sehr weit entwickelt waren, gelang es mir nicht mehr durch Umkehren das zuvor zenithwärts gewandte Areal der Brutknospen zum Hervortreiben von Wurzelhaaren zu bringen, doch war auch jetzt noch das Gewebe der Brutknospe lückenlos verbunden, nur die Stärke zum grössten Theil aus demselben verschwunden und das Chlorophyll spärlich geworden. Von einer eigentlichen Bilateralität kann also, insofern es sich nicht um die Sprosse, sondern nur um die Brutknospen handelt, nicht die Rede sein, denn der endliche Verlust der Fähigkeit Wurzelhaare auf derjenigen Seite, welche bis dahin frei von denselben blieb, zu bilden, dürfte wohl in einem Verschwinden der Reservestoffe oder in dem Erlöschen der Lebensthätigkeit des Brutknospengewebes, worauf das allmähliche Verschwinden des Chlorophylls hindeutet, seinen Grund haben. Sicher wenigstens ist, dass beide Seiten der Brutknospen sich noch ganz gleichwerthig in Betreff der Wurzelhaarbildung zeigten, auch wenn die Seitensprosse sich bereits bis zur Bildung von Spaltöffnungen entwickelt hatten.

Die angeführten Thatsachen zeigen also, dass Bilateralität den Brutknospen selbst gar nicht induzirt, wohl aber den Seitensprossen gleich bei ihrer Entwicklung inhärent wird. Hiermit stehen Mirbel's Angaben nicht

im Einklang, nach welchen Bilateralität schon 24 Stunden nach der Aussaat unwiderruflich ausgebildet sein soll, obgleich, wie auch die Figuren 39 und 40 (Taf. IV.) zeigen, bis dahin nur einzelne Wurzelhaare auf der dem Substrat anliegenden und nach unten gewandten Seite gebildet waren und eine merkliche Entwicklung der Seitensprosse noch nicht begonnen hatte.[1]) Brutknospen dieser Entwicklung habe ich sehr oft und unter Anwendung verschiedener Substrate (Gartenerde, Sand, Torf und Papier) umgekehrt, aber MIRBEL's Angaben nicht bestätigt gefunden. Die nach dem Umkehren erdwärts gewandte und dem Substrat aufliegende Seite brachte bald Wurzelhaare hervor, während die der anderen, nunmehr aufwärts gewandten Seite in schon früher beschriebener Weise nach dem Substrate sich zukrümmten, die mittlerweile hervorwachsenden Seitensprosse waren aber der durch das Umwenden eingenommenen Lage entsprechend orientirt, so dass also die nach dieser Operation dem Zenith zugewandte und beleuchtete Seite zur Oberseite wurde. Anders aber gestaltete sich die Sache, wenn Brutknospen umgewandt wurden, bei welchen eine merkliche Entwicklung der Seitensprosse bereits begonnen hatte; waren diese auch noch sehr klein und Intercellularräume noch gar nicht gebildet, so war doch Bilateralität unwiderruflich inhärent geworden. Dies fand ich meist zwei bis drei Tage nach der Aussaat realisirt, und nun wickelte sich Alles in der Weise ab, wie es von MIRBEL sehr gut beschrieben und abgebildet und bereits einleitend kurz referirt wurde. Das Areal der Brutknospen selbst bringt ebenso, wie es oben erst bemerkt wurde, auf der bisher freien Seite Wurzelhaare hervor, die sich aber niemals auf der nach dem Umkehren dem Substrate aufliegenden Seite der Sprosse bilden; diese wird vielmehr wieder dem Licht zugewandt, indem sich die fortwachsenden Sprosse an ihrem Vorderende zuerst aufbiegen und endlich rückwärts umschlagen. Dieselbe Seite, welche vor dem Umwenden dem Licht zugewandt war, wird es also auch jetzt wieder und auf ihr entstehen, wie übrigens schon bemerkt, mit Ausnahme der zuerst gebildeten Partie, Spaltöffnungen, während die andere Seite baldigst nach dem Erscheinen der Seitensprosse Wurzelhaare und Blattlamellen produzirt. Die Art und Weise des Zurückschlagens der Sprosse ist schon früher nach MIRBEL kurz angegeben und mehr noch als Worte vermögen dessen herrliche, in dieser Beziehung ganz correkte Abbildungen den Vorgang zu versinnlichen. MIRBEL hat also die Ausbildung der Bilateralität an keimenden Brutknospen nur in ein zu frühes Entwicklungsstadium, noch vor das Erscheinen der Seitensprosse zurückverlegt.

Die Bilateralität wird also sofort mit dem Hervorwachsen der Seitensprosse aus den Brutknospen inhärent und zwar wird unter allen Umständen die beleuchtete zur anatomischen Oberseite, gleichviel ob diese der

1) An warmen Tagen kamen auch bei mir die Aussaaten in 24 Stunden bis zu diesem Entwicklungsstadium.

Erde oder dem Zenith zugewandt ist. Bei möglichst gleichmässiger Beleuchtung beider Brutknospenseiten, wie sie in den Experimenten geboten war, welche mit aus zwei durchsichtigen Glasplatten zusammengesetzten Feuchtkammern angestellt wurden, ist es mir nicht gelungen, die Entwicklung der Sprosse so weit zu bringen, dass Ober- und Unterseite ohne weiteres kenntlich waren. Brutknospen, die in dieser Weise Wurzelhaare getrieben und kleine Seitensprosse entwickelt hatten, wurden auf Erde oder Torf bald mit der dem Glas zuvor anliegenden, bald mit der vorher freien Seite übertragen, ohne dass ich indess durch diese Experimente zu einem bestimmten Resultate gelangt wäre. Bilateralität scheint auch bei beiderseitiger Beleuchtung immer mit dem Hervorwachsen der Sprossen ausgebildet zu sein, doch weiss ich nicht zu sagen, ob unter diesen Verhältnissen die zufällig etwas weniger Licht empfangende oder die dem Substrate anliegende Seite zur Unterseite bestimmt wird.

Brutknospen, welche auf Wasser schwimmend cultivirt werden, treiben auffallend schmale bandförmige Seitensprosse, die man den schmalen, von manchen laubigen Lebermoosen gebildeten Wassersprossen vergleichen kann. Die Oberseite der auf Wasser gebildeten Sprosse von Marchantia ist durch die Unfähigkeit Wurzelhaare erzeugen zu können und stellenweise vorhandene Intercellularräume sehr wohl ausgezeichnet, doch haben sich bei meinen Culturen niemals Spaltöffnungen gebildet; übrigens habe ich mir auch keine besondere Mühe gegeben deren Bildung zu erzielen. — Endlich sei hier auch noch bemerkt, dass, wenn Brutknospen derart vertikal gestellt sind, dass die beiden Seitensprosse aufwärts und abwärts wachsen müssen und einer derselben nicht zur Entwicklung kommt, es ebenso oft der dem Zenith als der der Erde zugewandte Spross ist.

Die wesentlichsten Resultate sind in Folgendem nochmals kurz zusammengefasst.

Die Zellen, welche zu Wurzelhaaren auswachsen, sind schon auf den anatomisch und physiologisch gleichwerthigen Seiten der reifen Brutknospe durch ihren chlorophyll- und stärkefreien hyalinen Inhalt ausgezeichnet und sind im Durchschnitt auch ein wenig grösser als die übrigen Zellen der freien Aussenflächen.

Wenn die unentbehrlichen Entwicklungsbedingungen (genügende Feuchtigkeit, Temperatur und auch Licht) dargeboten sind, so haben alle hyalinen Zellen vermöge einer in den Brutknospen selbst entwickelten Kraft das Bestreben zu Wurzelhaaren hervorzuwachsen; diese eigene Kraft aber wird aufgehoben durch die Schwerkraft, wenn diese in einer entgegengesetzten Richtung thätig ist. Desshalb werden auf der frei dem Zenith zugewandten Brutknospenseite keine Wurzelhaare producirt, während sich dieselben auf der der Erde zugekehrten Seite unter allen Umständen bilden. Ausserdem wird auch durch die andauernde Berührung mit einem soliden Körper eine Kraft gewonnen, welche mindestens die hemmende Wirkung der Schwerkraft aufhebt, und so bilden sich immer auf der einem Substrate anliegenden Brut-

knospenseite, auch wenn diese zenithwärts gewandt ist, Wurzelhaare. Bemerkenswerth ist, dass Berührung mit Wasser nicht wie der Contakt mit einem festen Körper wirkt.

Ein gewisses Mass von Beleuchtung ist nothwendig, um eine kräftige Produktion von Wurzelhaaren hervorzurufen; an im Dunklen gehaltenen Aussaaten werden gar keine oder doch nur spärliche Wurzelhaare gebildet und eine Entwicklung der Seitensprosse unterbleibt überhaupt gänzlich. Hingegen können Wurzelhaare sowohl auf der beleuchteten, als auch auf der beschatteten Seite der Brutknospen hervorwachsen.

Der Geotropismus der Wurzelhaare wird durch den sehr energischen negativen Heliotropismus derselben weit überwogen.

Wenn eine Brutknospe auch bereits Wurzelhaare trieb, so ist damit noch keineswegs Bilateralität induzirt, sondern diese bildet sich erst an den hervorwachsenden Sprossen aus, welchen sie aber auch gleich mit deren Erscheinen unwiderruflich inhärent wird. Die beleuchtete Seite der Sprosse, wie auch deren Lage sein mag, wird unter allen Umständen spaltöffnungsbildende Oberseite, die beschattete Seite zur Unterseite, welche Wurzelhaare und Blattlamellen hervorbringt. Auch nachdem die Seitensprossen sich gebildet haben, ist die Brutknospe selbst noch beiderseitig gleichwerthig.

Die Bilateralität kommt, wie den aus einer Brutknospe sich entwickelnden Seitensprossen, ebenso gut jedem beliebigen Thallus von Marchantia zu. Legt man einen älteren oder jüngeren Thalluslappen von Marchantia mit der Lichtseite auf Erde und hält ihn auf dieser durch übergelegte Glasplatten fest, so krümmt sich das fortwachsende Ende in einem scharfen Bogen nach rückwärts um, so dass die Oberseite wieder dem Licht zugewandt wird. Ist die Glasplatte so fest aufgelegt, dass dieses nicht möglich ist, so geht der Thallus nach längerer Zeit zu Grunde, nie aber bilden sich Wurzelhaare auf der mit Spaltöffnungen besetzten Oberseite. Auch aus der Aussenfläche männlicher und weiblicher Blüthenstände wuchsen keine Haargebilde hervor, als jene wochenlang auf feuchtem Sand liegen blieben. Es ist bekannt, wie auch in der Natur der Thallus laubiger Lebermoose seine Oberseite, gleichsam wie ein Blatt, immer dem Lichte zukehrt, und wo diese Moose an der Decke von Klüften vegetiren, wie ich es bei Marchantia, Fegatella conica und Preissia commutata öfters beobachtete, da ist auch die Oberseite erdwärts gewandt.

Bekanntlich sind auch fast alle laubigen Lebermoose streng bilateral, und ebenso ist bei diesen immer die gleiche Seite dem Lichte zugewandt, auch wenn dieselbe ausnahmsweise erdwärts schaut, wie dies u. a. der Fall ist, wenn Radula complanata oder Frullania dilatata auf der Unterseite horizontaler Baumäste vegetiren. Wie bei diesen bei Neubildung von Pflänz-

chen Beleuchtung und Verdunklung oder Berührung mit einem Körper auf die Orientirung von Licht- und Schattenseite wirken, kann ich nicht sagen, an der Pflanze selbst aber sind Ober- und Unterseite nicht mehr umzukehren, wie dies schon daraus folgt, dass bei derselben Pflanze die Nebenblätter, wo solche vorhanden, immer auf der gleichen Seite sich finden. Ich brachte Pflänzchen von Calypogeia Trichomanis zwischen zwei durch Streifen von Pappdeckel auseinandergehaltene Glasplatten, deren untere auf dunklem Grunde lag. Dieser war die Oberseite der Pflänzchen zugewandt, während deren untere, mit Nebenblättern besetzte Seite beleuchtet wurde und nach dem Zenith schaute. Die den Vegetationspunkt umhüllenden Blätter wurden durch kleine, mit schwarzem Lack aufgetragene Punkte gekennzeichnet, und so stellte sich nach fast $2^1/_2$ Monaten, von Anfang Juni bis Mitte August, ein Zuwachs von 10 bis 15 Mm. heraus, aber Ober- und Unterseite der neugebildeten Sprosse war ganz gleich wie an den übrigen Pflänzchen orientirt. Dabei suchte die fortwachsende Spitze der Pflänzchen sich rückwärts umzuwenden, um die Oberseite wieder dem Lichte zuzuwenden, was auch gelang, wenn die Pflänzchen nicht eng genug zwischen die Glasplatten eingeklemmt waren.

Auch bei Selaginella sind die bilateral ausgebildeten Seiten nicht umzukehren. Zwei Zweige einer in einem Topf vegetirenden Pflanze von Selaginella Kraussiana wurden am 6. Mai 1870 in umgekehrter Lage, die Unterseite also zenithwärts gewandt, zwischen zwei Glasplatten gebracht, deren untere auf dunklem Grunde lag und welche durch dünne Pappdeckelstreifen so auseinander gehalten wurden, dass die Zweige zwar nicht gepresst wurden, aber auch sich unmöglich umwenden konnten. Die ganze Zusammenstellung stand bis zum 20. August hinter einem Nordfenster und war mit einer grossen Glasglocke überdeckt. Zu Beginn des Versuches war auf eines der untersten Blätter jeder der an den eingeklemmten Zweigen wahrnehmbaren Dichotomien ein feiner Punkt mit schwarzem Lack aufgetragen worden, und am Ende des Experimentes stellte sich heraus, dass die Scheinaxen meist um 4 Fussstücke zugenommen hatten, von denen übrigens die jüngsten noch kurz waren. In einer Endknospe unserer Selaginella hat höchstens eine zweimalige Dichotomirung stattgefunden, bis die Sprosse auch ohne weitere Präparation zu erkennen sind, und da zu Anfang und Ende des Experimentes nur die ohne weiteres sichtbaren Dichotomien berücksichtigt wurden, so waren zwei Fussstücke der Scheinaxe jedenfalls während der Versuchsdauer neugebildet worden. Obgleich also hierbei die Unterseite die beleuchtete und zenithwärts gewandte war, so war doch weder in der Orientirung von Ober- und Unterseite, noch in den Grössenverhältnissen von Ober- und Unterblättern ein Unterschied gegenüber den früher gebildeten Sprossen wahrzunehmen.

Ich kann nicht sagen, ob bei neu entstehenden Pflänzchen von Selaginella und Calypogeia oder anderen beblätterten Lebermoosen die Orienti-

rung der beiden heterogenen Seiten in einer ähnlichen Beziehung zum Licht stehen wird, wie es bei den aus den Brutknospen heranwachsenden Seitensprossen von Marchantia der Fall ist, bei welchen, wie ich nachwies, die beleuchtete Seite stets zur Oberseite wird. Wie am Thallus von Marchantia, so ist aber auch an Pflanzen von Selaginella und Calypogeia die Bilateralität streng inhärent[1]) und Ober- und Unterseite können in keiner Weise umgewechselt werden. Welche Betheiligung der Schwerkraft, dem Licht oder anderen von aussen einwirkenden Agentien bei bilateraler oder symmetrischer Ausbildung von Sprossen und Blättern anderer Pflanzen zukommt, müssen, soweit es eben angeht, experimentelle Untersuchungen entscheiden; die von Hofmeister[2]) über dieses Thema zusammengestellten Thatsachen, fasse ich mit Sachs[3]) meist wesentlich anders auf. Wiesner's[4]) Ansicht über die Wirkung der Erdschwere auf Grössenverhältnisse der Blätter an horizontal oder schief stehenden Zweigen kann nur auf experimentellem Wege begründet werden, der freilich auch von Wiesner, aber in zu untergeordneter Weise betreten wurde, und zudem ergaben dessen Experimente mit zwei Arten von Goldfussia sowohl negative als positive Resultate.

Die Haustorien von Cuscuta und Cassyta und die Haftballen an den Ranken von Ampelopsis entstehen, wie H. v. Mohl[5]) in einer klassischen Arbeit zeigte, nur bei Berührung mit irgend einem Gegenstand. Wie bei Marchantiabrutknospen, und nach Darwin[6]) auch bei Ranken von Passiflora und Echinocystis, die Berührung mit Wasser nicht wie die mit einem festen Körper wirkt, so ist es auch bei Ranken von Ampelopsis der Fall, wie die hier kurz mitzutheilenden Experimente zeigen, welche an im Freien wachsendem wildem Wein vorgenommen wurden. Noch im Wachsthum begriffene Ranken wurden in Wasser getaucht, welches sich in einem grösseren Glasgefäss befand, und durch Festbinden der Zweige in fester Stellung gehalten. Bei jedem Experimente hing die Mehrzahl der Ranken frei in das Wasser herab, während einige gegen die Fläche eines in dem Wasser liegenden Stückes eines Dachziegels gestemmt waren. Bei 5, von 9 überhaupt angewandten Ranken, hatte die Bildung der Haftballen an verschiedenen mit dem rauhen Ziegelstück in Berührung stehenden Stellen nach 3—5 Tagen in merklicher Weise begonnen, während bei 14 Ranken, welche frei in das

1) Dies ist offenbar auch beim Epheu der Fall, dessen Haftwurzeln immer auf gleicher Seite entspringen, auch wenn Zweige frei herabhängen oder etwa über eine Mauer hinauswachsend allseitig beleuchtet sind. Vgl. Sachs, Lehrb., 2. Aufl., p. 672.

2) Allg. Morpholog. § 23 u. 24.

3) Lehrbuch, 2. Aufl., p. 185.

4) Wiesner, in Sitzb. d. k. k. Akad. 1868, Bd. LVIII, Sptabdr. — Vgl. auch Sachs Lehrb., II. Aufl., p. 634.

5) Ueber den Bau und das Winden von Ranken und Schlingpflanzen. 1827, p. 129 ff. u. p. 70 ff.

6) Bewegung d. Schlingpflanzen, im Auszug in Flora 1866, p. 323.

Wasser herabhingen, niemals die geringste Produktion von Haftballen wahrzunehmen war, obgleich die Versuche jedesmal so lange fortgesetzt wurden, bis die Ranken zu Grunde gingen. Uebrigens kommen auch, wenn man nicht unter Wasser, sondern in freier Luft experimentirt, sehr gewöhnlich nicht an allen Ranken Haftballen zum Vorschein, da deren Bildung von einem gewissen Altersstadium der Ranke abhängig und dieses nicht ohne weiteres mit genügender Sicherheit zu erkennen ist.

Die Bildung der Haftballen an den Ranken des wilden Weines geschieht auch im Dunklen, aber auch hier nur unter dem Einfluss des Contaktes mit einem soliden Körper. Ueber ein weithalsiges Glasgefäss befestigte ich einen Pappdeckel, in welchen Löcher geschnitten waren, um die Ranken hindurchzustecken, und wenn dies geschehen war, so wurden diese Ausschnitte mit Baumwolle ausgestopft, um Zutritt von Licht möglichst zu verhindern. Die Gläser selbst waren mit schwarzem Papier überklebt und nur ein Fenster offen gelassen, welches nach Zusammenstellung des Experimentes gleichfalls mit schwarzem Papier überdeckt wurde. Bei verschiedenen Versuchen kam an 13 frei in den dunklen Raum herabhängenden Ranken keine Bildung von Haftballen zu Stande, während diese dreimal bei sechs Versuchen gebildet wurden, in welchen die Ranken gegen einen in dem Glase befindlichen Ziegelstein gestemmt waren. Uebrigens kam es auch hier nur zur Produktion sehr kleiner Haftballen, da die Ranken im Dunklen bald zu Grunde gingen.

Voraussichtlich wirkt auch bei Cuscuta Wasser nicht als Contaktsubstanz, und dass bei dieser Pflanze die mit der Appression an eine dunkle Stütze nothwendig verbundene einseitige Verdunklung des schlingenden Stammes mit der Bildung der Haustorien nichts zu thun hat, folgt daraus, dass diese auch dann entstehen, wenn eine Glasröhre als Stütze dient. Die Haustorien von Cuscuta[1]) sind wirkliche, in Folge der Appression entstehende Neubildungen, welche an jeder beliebigen Stelle des Stammes hervorwachsen können. Auch die Haftballen der Ampelopsis können an verschiedenen Stellen der Ranke neugebildet werden, ausserdem aber findet sich hinter der Spitze eines jeden Rankenastes, auf dessen Oberseite, ein kleiner, dunklergefärbter Höcker, welcher gewissermassen die Anlage eines Haftballens vorstellt, die bei Berührung mit einem festen (rauhen) Körper zur Weiterentwicklung angetrieben wird. Diese Fortbildung findet nur durch Wirkung des Contaktes (Druckes) statt, während bei den Brutknospen von Marchantia die in den hyalinen Zellen der Anlagen nach vorhandenen Wurzelhaare auch ohnedies hervorwachsen, wenn nur die in entgegengesetzter Richtung wirkende Schwerkraft kein Hinderniss bildet und sofern nur Wasser von den Brutknospen aufgenommen werden kann.

Die Luftwurzeln (Wurzelranken Mohl's) von Vanilla bringen nach von Mohl[2]),

1) Vergl. ausser Mohl's citirter Arbeit auch Uloth, in Flora 1860, p. 275 ff.

2) L. c., p. 49.

an den Stellen, mit welchen sie mit irgend einem Körper in Berührung kommen, einen Filz von Wurzelfäserchen hervor. Ich hatte nicht Gelegenheit die zweifellos genauen Beobachtungen Mohl's an Vanilla oder andern Luftwurzeln von Orchideen zu wiederholen; an den Wurzeln vieler Pflanzen fand ich indess die Wurzelhaare auch dann gebildet, wenn eine Berührung mit einem Körper nicht stattgefunden hatte, so z. B. an Keimpflänzchen von Zwiebeln, Bohnen, Erbsen, Mais u. a. Ferner erscheinen bei diesen, auch wenn die Wurzeln in horizontaler Richtung fortwachsen, die Wurzelhaare auf allen Seiten; ihre Bildung wird also nicht von dem Zuge der Schwere beeinflusst. Bekannt ist übrigens, dass Verfinsterung in manchen Fällen Produktion von Wurzeln und Wurzelhaaren begünstigt. [1])

Das Hervorbrechen der schon der Anlage nach vorhandenen Wurzeln aus den Wurzelträgern von Selaginella, wenn diese den Boden erreichen, ist nicht etwa die Folge einer Contaktwirkung, sondern wird nur durch die in flüssiger Form dargebotene Feuchtigkeit veranlasst. Wurzelträger einer unter einer Glasglocke cultivirten Selaginella sulcata wurden so über trockenen Glasplatten, Pappdeckel und Sand angebracht, dass sie nach kurzen Längenwachsthum möglichst genau senkrecht auf die genannten Substrate aufstiessen. Auf der Glasplatte und dem Pappdeckel bogen sich die Spitzen um, während dieselben in Sand eindrangen, ohne dass indess jemals die Wurzeln hervorbrachen. Sind hingegen der Pappdeckel oder der Sand feucht gehalten, so beginnen auch $1\frac{1}{2}$ bis 2 Tage nach dem Auftreffen die vielfach kreuzweise dichotomirenden Wurzeln zu erscheinen, während die Zellen des kopfförmig angeschwollenen Endes des Wurzelträgers in einen durchsichtigen, die Wurzeln anfangs verhüllenden, weiterhin aber verschwindenden Schleim zerfliessen. [2]) Ebenso leicht aber brechen auch die Wurzeln hervor, wenn man einen Wurzelträger in Wasser tauchen lässt, und man kann auf diese Weise herrliche Präparate erziehen. Da es hierbei gleichgültig ist, ob das Licht zutreten kann oder möglichst abgehalten ist, so folgt auch, dass die Verfinsterung, welche mit dem Eindringen der Wurzelträgerspitzen in die Erde verbunden ist, keine Bedingung für das Hervorbrechen der Wurzeln ist.

Wir haben schon mehrere Beispiele kennen elernt, wo das Wasser nicht wie die Berührung mit einem festen Körper wirkte, und ebenso ist es auch bei Selaginella, wie die folgenden Experimente zeigen. Ein frei herabhängender Wurzelträger wurde 15 bis 20 Mm. oberhalb des kopfförmigen Endes mit einen dünnen Saugdocht umschlungen, der mit dem anderen Ende in ein Gefäss mit Wasser tauchte. Nach zwei Tagen machte sich das Erscheinen der Wurzeln schon bemerklich, doch hatte hierbei das vom Saugdocht herabrieselnde Wasser sich in Tröpfchen an der Spitze der

---

1) Vgl. Sachs Lehrbuch 2. Aufl., p. 618.

2) Vgl. Nägeli u. Leitgeb, Beiträge z. wiss. Botanik Hft. IV, p. 126.

Wurzelträger ansammeln können, und desshalb richtete ich zwei in gleicher Weise mit einem Saugdocht umschlungene Wurzelträger vertikal aufwärts. Hier konnte das Wasser vermöge seiner Adhäsion kaum bis zur Spitze des Wurzelträgers steigen, und dennoch hatte, wenn auch erst nach 3 Tagen, das Hervorbrechen der Wurzeln begonnen, welche hier freilich langsamer, als in Wasser tauchende, weiterwuchsen, was natürlich nicht Wunder nehmen kann. Jedenfalls ist aber mit diesen Experimenten der mögliche Einwand beseitigt, dass bei Wurzelträgern von Selaginella die Berührung mit Wasser wie die mit einem soliden Körper wirkt und bei den mit trockenen Glasplatten, Pappdeckel und Sand angestellten Experimenten eben nur wegen Mangel an Feuchtigkeit das Erscheinen der Wurzeln unterblieb. Damit folgt aber, *»dass allein in Folge der Aufnahme von Wasser, die in dem kopfförmigen Ende der Wurzelträger bereits ihrer Anlage nach vorhandenen Wurzeln hervorbrechen«*, und dass hierbei die Schwerkraft unbetheiligt ist, geht aus dem zuletzt angeführten Experimente mit vertikal aufwärts gestellten Wurzelträgern hervor.

Bei den hier behandelten Pflanzen sahen wir, dass Bilateralität, wenn sie vorhanden, auch inhärent war, wie es auch bei anderen Fällen meist der Fall zu sein scheint. Auf weitere Auseinandersetzungen verzichte ich übrigens und verweise auf die Behandlung, welche Sachs[1] in neuster Zeit diesem Thema, das erst durch ausgedehnte Untersuchungen genügend aufgeklärt werden kann, angedeihen liess. Aus meinen Versuchen geht aber auch hervor, dass die Wirkung von aussen influirender Kräfte eine ganz ungleiche bei verschiedenen Objekten sein kann und man sich hier wohl hüten muss, aus einer Anzahl bekannter Fälle allgemeine Schlüsse ableiten zu wollen.

Dr. A. Frank fand nach einer mittlerweile erschienenen Schrift (Die natürliche wagerechte Richtung von Pflanzentheilen) bei allen Versuchsobjekten Bilateralität schon den Knospen inhäriren. Nur bei den Nadelhölzern war in den jugendlichsten Laubknospen noch keine Bilateralität ausgebildet; die Oberseite orientirte sich bei Weiterentwicklung der Knospen hier stets so, dass sie zenithwärts gewandt war.

---

1) Lehrbuch, 2. Aufl. p. 185 ff.

Druck von Breitkopf und Härtel in Leipzig.

ARBEITEN

DES

BOTANISCHEN INSTITUTS

IN

WÜRZBURG

HERAUSGEGEBEN VON

PROF. DR. JULIUS SACHS.

Heft II.

LEIPZIG,

VERLAG VON WILHELM ENGELMANN.

1872.

III.

Ueber den Einfluss der Lufttemperatur und des Tageslichts auf die stündlichen und täglichen Aenderungen des Längenwachsthums (Streckung) der Internodien.

Von

Dr. Julius Sachs.

Der Einfluss, welchen die veränderliche Lufttemperatur und der periodische Wechsel von Tageslicht und nächtlicher Dunkelheit auf das Längenwachsthum der Internodien und Blätter geltend macht, nachdem dieselben aus dem Knospenzustand hervorgetreten sind, ist vielfach Gegenstand der Untersuchung gewesen; schon Christoph Jacob Trew publicirte 1727 lange fortgesetzte tägliche Messungen am Blüthenschaft von Agave americana in Verbindung mit Temperatur- und Wetterbeobachtungen; aber erst hundert Jahre später gaben Ernst Meyer (1827) und Mulder (1829) der Forschung in dieser Richtung einen neuen Anstoss, dem dann van der Hopp, de Vriese (1847, 1848) und Andere folgten; eingehender wurden die einschlägigen Fragen jedoch von Harting (1842), Caspary (1856), Rauwenhoff (1867) bearbeitet.

Zu einer definitiven Beantwortung oder auch nur zur Feststellung einer wirklich brauchbaren Methode führten diese übrigens mit Fleiss und Ausdauer angestellten Beobachtungen nicht; die sorgfältige Durchsicht derselben zeigt, dass kaum zwei Beobachter zu demselben Resultat kamen, und dass die Auffindung gesetzlicher Beziehungen des Längenwachsthums zur Temperatur und dem Licht sogar unmöglich war, da man sich einerseits die zu beantwortenden Fragen nicht klar und bestimmt genug stellte, anderseits die hier einfliessenden Fehlerquellen und demnach die Schwierigkeiten der Beobachtung mehr oder weniger unbeachtet liess. Zwischen hinein erschien sogar noch eine Reihe von Mittheilungen, die einfach nur wiederholte Längenmessungen brachten, ohne die äusseren Umstände überhaupt oder genügend zu berücksichtigen, so dass man wohl ein Bild der fortwährenden Ungleichförmigkeit des Wachsthums in verschiedenen Tagen und Tageszeiten erhielt, ohne jedoch die Ursachen derselben verzeichnet zu

finden; manche Beobachter beschränkten sich sogar darauf, den Unterschied des täglichen und nächtlichen Zuwachses constatiren zu wollen, überlegten aber nicht, dass „Tag" und „Nacht" für die Pflanze verschiedene und sehr variable Complicationen von Wachsthumsbedingungen bedeuten, und dass eine solche Fragestellung unmöglich zur Auffindung gesetzlicher Beziehungen führen kann, so lange man nicht die einzelnen Factoren, welche in den Begriffen Tag und Nacht für die Pflanze enthalten sind, kennt; in diesem Sinne mehr oder weniger unbrauchbar für unseren Zweck sind z. B. die Mittheilungen von Seitz, Meyen, Martins, Duchartre.

Ich habe mich, wenn auch mit grossen Unterbrechungen, seit 1869 zunächst mit der Ausbildung genauerer Beobachtungsmethoden beschäftigt, und die zu beantwortenden Fragen besser zu sondern und klarzustellen gesucht.[1] Es wird die Darstellung dieser Bemühungen, sowie die Mittheilung einiger schon jetzt gesicherten Resultate der Gegenstand dieser Abhandlung sein. — Da ich selbst erst durch meine eigenen Arbeiten ein Urtheil über den wissenschaftlichen Werth und die Resultate der Beobachtungen meiner Vorgänger gewonnen habe und ich glaube, dass auch der Leser erst einen Standpunkt gewinnen möchte, von dem aus die früheren Arbeiten verwerthet werden können, so werde ich, abweichend von dem gewöhnlichen Verfahren, die Literatur erst am Schluss behandeln.

I. Vorläufige Betrachtungen über die zu bearbeitenden Fragen und die etwa zu erwartenden Resultate.

Mit wenigen Ausnahmen hat die Mehrzahl der Beobachter des Längenwachsthums Pflanzentheile ausgewählt, welche durch sehr beträchtliche Zuwachse in kurzen Zeiten sich auszeichnen; ganz besonders waren es die mächtigen Blüthenstämme der Agaven, die wegen ihres raschen Wachsthums wiederholt gradezu den äusseren Anlass zu derartigen Beobachtungen darboten; man war auf solche Objecte angewiesen, weil man sich begnügte, die Längenzuwachse einfach mit dem Maassstab zu messen, den man unmittelbar an die beobachteten Pflanzentheile anlegte. Wenn nun auch zuzugeben ist, dass bei rasch wachsenden Pflanzen auf diese Weise hinreichend genaue Messungen in ein- oder mehrstündigen Zeiträumen zu machen sind, so treten doch dabei andere Uebelstände auf, von denen ich nur zwei besonders hervorheben will; erstens sind nämlich Pflanzen, welche so schnell wachsen, dass man täglich auch nur vier bis sechs hinreichend genaue Messungen machen kann, selten zu haben; man ist dem Zufall preisgegeben und eine methodisch zusammenhängende Beobachtungsreihe ist kaum durchführbar; zweitens sind derartige Pflanzen (wie die Agaven,

---

1) Vergl. Sachs, Lehrbuch der Bot. II. Aufl. p. 632 und Verhandlungen der physik. med. Gesellsch. in Würzburg 4. Febr. 1871.

Musaceen, Victoria regia) meist von so beträchtlicher Grösse, dass man genöthigt ist, die Beobachtungen im Gewächshause oder gar unter freiem Himmel vorzunehmen, also unter Umständen, wo sie sehr grossen, unregelmässig wechselnden Schwankungen der Temperatur und des Lichts, der Luft- und Bodenfeuchtigkeit unterworfen sind, welche in angemessener Weise zu regeln und zu beherrschen der Beobachter ganz ausser Stande ist. Die Vergleichung der früheren Beobachtungen zeigt, dass diese Umstände wesentlich dazu beigetragen haben, die Resultate nicht nur verschiedener Forscher, sondern auch die desselben Beobachters verschieden und einander widersprechend ausfallen zu lassen.

Aus diesen Gründen hielt ich es für die nächste Aufgabe, eine Beobachtungsmethode zu finden, die es erlaubt, beliebige, auch langsam wachsende, kleine Pflanzen mit hinreichender Genauigkeit womöglich stündlich zu messen. Geeignete Objecte, die sich der Aufgabe vollständig anschmiegen, sind auch in diesem Falle noch schwierig genug zu haben, aber doch durch vorsichtige Cultur in Töpfen zu beschaffen; besitzt man sie aber einmal, so kann man sie im Zimmer unter beliebig veränderten Bedingungen der Beobachtung unterwerfen.

Die Fragestellung im Einzelnen entspringt hier, wie bei allen experimentalen Untersuchungen, aus der Erwägung der bereits bekannten einschlägigen Erscheinungen, aus denen sich auf die möglicherweise zu erwartenden Resultate schliessen lässt.

Kommt es darauf an, den Gang des Längenwachsthums eines Pflanzentheils so kennen zu lernen, dass man nicht nur ein zusammenhängendes Bild desselben von Anfang bis zu Ende erhält, sondern auch die Wirkungen zu beurtheilen vermag, welche bestimmte Schwankungen der Temperatur, der Beleuchtung und der Feuchtigkeit hervorbringen, so ist es durchaus nöthig, die Zuwachse in kurzen, d. h. in ein-, zwei- oder dreistündigen Zeiträumen zu messen und zugleich zu wissen, wie der Gang des Wachsthums sich verhalten würde, wenn diese äusseren Ursachen sämmtlich constant wären.

Dass in der Pflanze selbst Ursachen thätig sind, welche ganz unabhängig von dem Wechsel äusserer Bedingungen, das Längenwachsthum bald beschleunigen, bald retardiren, war ohnehin zu vermuthen und liess sich z. Th. aus dem bisher Bekannten entnehmen. Schon Harting [1]) fand, dass die Hopfenstengel anfangs langsam, dann immer rascher wachsen, ein Maximum der Geschwindigkeit erreichen und dann wieder immer langsamer wachsen, bis endlich das Wachsthum aufhört; auch Münter erkannte, obgleich seine zahlreichen Beobachtungen bei sehr schwankenden Temperaturen gemacht waren, diese Thatsache, die er mit den Worten

1) Harting: Tijdschrift voor natuurlejke Geschiedenis en physiol. Deel IX en X 1842 und Bot. Zeitg. 1843, p. 100.

ausdrückt[1]): „dass ausser dem täglichen, aus Exacerbation und Remission zusammengesetzten Rhythmus auch eine Zunahme, Höhe und Abnahme (incrementum, acme, decrementum) der Intensität des Wachsthums stattfindet. Die rhythmisch producirten Längen nehmen anfangs zu, steigen zu einer gewissen Höhe und nehmen dann ab bis zum völligen Aufhören." Am bestimmtesten hat bisher Rauwenhoff (s. unter V) die Thatsache ausgesprochen, dass im Lauf einer Vegetationsperiode das Wachsthum der Stengel erst zunimmt, ein Maximum erreicht und dann langsam bis auf Null sinkt.

Meine[2]) bei sehr constanten Temperaturen an Keimpflanzen gemachten Messungen hatten Zunahme, Maximum und Abnahme nicht nur für die Keimstengel, sondern auch für die Wurzeln ergeben, für welche wir kürzlich neue Bestätigungen durch Dr. Köppen[3]) erhalten haben. Aber nicht bloss ganze Stengel, Internodien und Wurzeln zeigen diese Zu- und Abnahme des Wachsthums aus innern, noch unbekannten Ursachen, sondern auch einzelne kurze Abschnitte eines Internodiums thun dasselbe; man kann diess schon aus einer sorgfältigen Betrachtung der Zahlen von Münter[4]) und Grisebach[5]), obwohl diese selbst es nicht hervorheben, entnehmen, deutlicher tritt diese Thatsache in unserer Tabelle 1 hervor; das dort als Beispiel gewählte epicotyle Internodium von Phaseolus multiflorus wächst in basifugaler Richtung, d. h. jeder höher liegende Querschnitt beginnt und vollendet sein Wachsthum später, als jeder nächst untere; daher zeigen uns die tieferen Querzonen e. f, g, h, i des Internodiums auf der Tabelle nur noch die fortschreitende Abnahme (das Aufhören) des Wachsthums, die höheren, k, l, m aber lassen noch die Zunahme, das Maximum und die Abnahme erkennen.

Ich werde im Folgenden, um eine wichtige Thatsache kurz bezeichnen zu können, die anfängliche Zunahme, Erreichung eines Maximums und endliche Abnahme der Wachsthumsgeschwindigkeit eines Pflanzentheils, unabhängig von äusseren Einflüssen, als die grosse Periode, oder auch im Hinblick auf die graphische Darstellung derselben (vergl. Tafel I und II) als die grosse Curve des Wachsthums bezeichnen.[6]) Nach dem eben Mitgetheilten ist ersichtlich, dass jeder Querschnitt eines Internodiums eine solche grosse Wachsthumsperiode besitzt, dass sich aus diesen die des ganzen Internodiums summirt und dass wahrscheinlich in ähnlicher Weise

1) Münter, Botan. Ztg. 1843, p. 125.

2) Sachs in Pringsh. Jahrb. für wiss. Bot. 1860. II. p. 344.

3) Köppen, „Wärme und Pflanzenwachsthum", eine Dissertation. Moskau 1830.

4) Münter: Linnaea 1841, Bd. 15 p. 209 und Bot. Zeitg. 1843.

5) Grisebach in Wiegmanns Archiv für Naturgeschichte 1843 p. 267 ff.

6) Ich habe fast alle Zahlenreihen meiner Vorgänger betreffs des Längenwachsthums auf Coordinaten übertragen; auch dort tritt, ähnlich wie in meinen eigenen Beobachtungsreihen, die Existenz der grossen Curve meist deutlich hervor.

die grosse Periode eines ganzen vielgliedrigen Stengels aus den grossen Perioden der aufeinanderfolgenden Internodien entsteht.

Bietet nun die grosse Curve des Wachsthums ein Beispiel dafür, wie die Wachsthumsgeschwindigkeit eines Pflanzentheils unabhängig von äusseren Einflüssen, ja trotz derselben, sich gleichmässig ändert, so ist anderseits hervorzuheben, dass die starken Schwankungen der Längenzuwachse, welche man bei halbstündigen oder stündlichen Beobachtungen wahrnimmt, noch auf andere innere Ursachen hinweisen, welche ebenfalls unabhängig von äusseren Einflüssen, die Wachsthumsgeschwindigkeit mit bestimmen. Diese Erscheinung, die ich als „stossweise Aenderungen des Wachsthums" bezeichnen will, wurde schon von Caspary für das Blatt der Victoria regia [1]), dann von mir in meinem Lehrbuch der Botanik (II. Aufl. p. 631) angedeutet; sie lässt sich aus unseren Tabellen und Tafel V, VI, VII erkennen. [2])

Ich zweifle nicht, dass die Kenntniss der grossen Periode sowohl, wie die der stossweissen Aenderungen des Wachsthums später einmal für eine Theorie der Mechanik des Wachsthums von bedeutendem Nutzen sein wird; hier indessen habe ich beide Erscheinungen nur desshalb hervorgehoben, weil ihre Kenntniss durchaus nöthig ist, wenn man die Wirkungen äusserer Einflüsse auf das Längenwachsthum aufsucht und weil durch sie die experimentale Feststellung gesetzlicher Beziehungen auf das Aeusserste erschwert wird. Setzt man z. B. den Fall, man beobachte ein wachsendes Internodium bei constanter Feuchtigkeit und Finsterniss, aber bei wechselnder Temperatur, so werden die in längeren Zeiten z. B. Tagen erhaltenen Verschiedenheiten der Zuwachse nicht ohne Weiteres als Functionen der verschiedenen Temperaturen aufzufassen sein, da sich gleichzeitig die Phase der grossen Periode ändert; es kann kommen, dass der höheren Temperatur (unterhalb des Optimums) ein geringerer stündlicher oder Tageszuwachs entspricht, weil sich das Internodium zu dieser Zeit in einem Zustand befindet, wo es überhaupt weniger wachsthumsfähig ist. Es liegt nun nahe, die Schwierigkeit dadurch zu vermeiden, dass man die Pflanze rasch nach einander verschiedenen Temperaturen aussetzt, um die Phasendifferenz der grossen Periode auf ein Minimum zu reduciren; allein die stossweisen Aenderungen des Wachsthums, welche ganz unregel-

1) Caspary, Flora 1856, p. 167 sub 3.

2) Ich habe übrigens zu bemerken, dass die stossweisen Aenderungen des Wachsthums um so weniger hervortreten, je weniger die äusseren Wachsthumsbedingungen variiren; bei meinen früheren Versuchen (1869) und später bei denen, welche Herr Reinke im hiesigen Laboratorium 1870 machte, waren die Pflanzen bei weitem nicht in dem Grade vor Luftzug, Licht und Temperaturwechsel geschützt, wie bei meinen 1871 durchgeführten Beobachtungen; es scheint, dass der häufige und rasche Wechsel der äusseren Verhältnisse Unregelmässigkeiten des Wachsthums bewirkt, die mit den äusseren Einflüssen dann nicht unmittelbar Hand in Hand gehen.

mässig eintreten, können den Effect der Temperatur auf den Zuwachs bald steigern, bald vermindern, ohne dass man in der Lage wäre, zu entscheiden, wie viel auf Rechnung des Einen und des Anderen zu setzen ist. Ganz dieselben Schwierigkeiten werden sich bei constanter Temperatur in Bezug auf die Wirkung variabler Beleuchtung oder Feuchtigkeit in kurzen Zeiträumen wiederholen.

Diese Verwickelung mit inneren Störungen da, wo es sich darum handelt, die Wirkungen äusserer Agentien auf das Wachsthum kennen zu lernen, macht es nicht nur nöthig, die Zahl der Beobachtungen ausserordentlich zu häufen, sondern sie bringt es auch mit sich, dass man nur selten im Stande ist, aus den stündlichen Zuwachszahlen direkt irgend eine gesetzliche Beziehung abzuleiten; um diess mit Sicherheit zu erreichen, ist es vielmehr nöthig, die Zahlenwerthe auf Coordinaten zu verzeichnen; die Curven, richtig construirt, lassen dann gewöhnlich die ursächlichen Beziehungen klar hervortreten (Weiteres darüber vergl. unten).

Ziehen wir nun in Betracht, was sich betreffs der Wirkungen äusserer Bedingungen auf das Wachsthum etwa aus den bisher bekannten Erfahrungen vermuthen und feststellen lässt.

1) Feuchtigkeit der Umgebung; da es mir hier nicht darauf ankommt, die gesetzlichen Beziehungen zwischen dieser und dem Wachsthum zum Gegenstand eingehender Untersuchungen zu machen, so erwähne ich ihrer bloss, um darauf hinzuweisen, dass Aenderungen in der Feuchtigkeit der Umgebung den Gang des Wachsthums mitbestimmen und also als Fehlerquellen auftreten können, wenn man die Beziehungen von Temperatur und Licht zum Wachsthum untersucht. Von dem Wassergehalt der Luft hängt bekanntlich der Wasserverlust der Pflanze durch Transpiration ab, der Feuchtigkeitsgehalt des Bodens bedingt einen mehr oder miner raschen Ersatz dieses Verlustes mittels der Wurzeln; Verlust und Ersatz aber bestimmen zusammen den Turgor der Zellen[1]) und dass dieser eine der wichtigsten und unmittelbaren Ursachen des Wachsthums ist, darf mit Bestimmtheit behauptet werden, wenn auch direkt auf diesen Punkt gerichtete Untersuchungen noch kaum vorliegen. Indessen zeigt die tägliche Beobachtung an mikroskopischen Pflanzen, dass die Zellen derselben, so lange sie wachsen, stark turgesciren und man ist daran so gewöhnt, dass eine nicht turgescirende Zelle für krank, todt oder doch nicht für eine wachsende gehalten wird; ebenso zeigt die Erfahrung bei der Pflanzencultur, dass das Wachsthum nur so lange oder doch nur dann kräftig stattfindet, wenn die wachsenden Theile turgesciren; werden wachsende Stengeltheile durch Verdunstung schlaff, welk, so verkürzen sie sich be-

1) Unter Turgor verstehe ich ausschliesslich den Grad der Spannung zwischen Zellsaft und Zellhaut oder in anderen Worten, die Grösse des Druckes, den der Zellsaft auf die Zellhaut und diese umgekehrt auf jenen übt.

trächtlich, wie die Messung zeigt. Theoretisch genommen entspricht es wenigstens unseren bisher gehegten Ansichten von dem Wachsthum, dass durch die Dehnung, welche die Zellhaut unter dem Druck des Zellsaftwassers erfährt, die Intussusception erleichtert, das Wachsthum beschleunigt wird.

Soll also durch die Feuchtigkeitsverhältnisse keine Störung im Gang des Wachsthums veranlasst werden, so hat man dafür zu sorgen, dass der Turgor der beobachteten Pflanze womöglich constant bleibe; es wird diess am sichersten erzielt, wenn man die Beobachtungsbedingungen so einrichtet, dass die Verdunstungsfläche sehr klein, der Wassergehalt der Luft und des Bodens nahezu constant ist. Diese Forderung lässt sich bei kleineren Pflanzen und im Zimmer genügend erfüllen, wie meine Untersuchungen zeigen, unmöglich ist diess dagegen im Freien und bei grossen Pflanzen; hier kann man zwar den Boden constant feucht erhalten, aber nicht die die Pflanze umgebende Luft: bei dem sehr starken und oft plötzlichen Wechsel der psychrometrischen Differenz in der umgebenden und bewegten Luft, wird die Pflanze umsoweniger im Stande sein, den Transpirationsverlust sofort und vollständig zu ersetzen, je grösser sie ist, je mehr Fläche ihre Blätter darbieten und je länger der Weg von den Wurzeln bis zu diesen ist; es liegen sogar Beobachtungen von de Vriese vor[1]), welche zeigen, dass bei allerdings mangelnder Bewurzelung einer Agave, der wachsende Blüthenstamm am Tage, bei gesteigerter Transpiration, sich wiederholt verkürzte, um bei abnehmender Temperatur und Beleuchtung, aber zunehmender Luftfeuchtigkeit sich wieder durch Wachsthum zu verlängern. So lehrreich an sich ein derartiges Vorkommniss ist, so sehr hat man sich doch davor zu hüten, wenn es darauf ankommt, den Einfluss der Temperatur und des Lichts auf das Wachsthum zu studiren.

2) Temperatur. Dass das Wachsthum erst dann beginnt, wenn eine gewisse niedere Temperatur (der specifische Nullpunkt) überschritten wird, dass es um so mehr beschleunigt wird, je höher die Temperatur liegt, dass bei einer gewissen höheren Temperatur, Optimaltemperatur, (zwischen 20 und 30° C.) ein Maximum der Wachsthumsgeschwindigkeit eintritt, während bei noch weiterer Steigerung der Temperatur die Zuwachse wieder abnehmen, habe ich früher[2]) für Keimpflanzen dargethan und Köppen hat diess in seiner erwähnten Arbeit bestätigt. Uebrigens hatte schon Harting (1842) ein derartiges Verhalten für die Hopfensprosse aus seinen Beobachtungen gefolgert, ohne jedoch zwingende Beweise dafür beizubringen.

Diese Thatsachen sind für die uns vorliegende Aufgabe nur insofern zu verwerthen, als man zunächst beachten muss, dass Temperaturen unter-

1) Vergl. unten den VII. Abschnitt.

2) Sachs in Pringsh. Jahrb. f. wiss. Bot. II. p. 338.

halb des specifischen Nullpunktes überhaupt keine Wirkung auf das Wachsthum üben, oder besser gesagt dasselbe nicht zu Stande kommen lassen; und dass eine Erwärmung bis über die Optimaltemperatur schädlich wirkt. Da jedoch im natürlichen Verlauf der Dinge Temperaturen oberhalb des Optimums nur selten vorkommen, bei Experimenten aber vermieden werden können, so will ich im Folgenden ganz davon absehen und unter höheren Temperaturen nur solche unterhalb des Optimums, also günstigere verstehen. Dass selbst innerhalb dieser Grenzen eine einfache Beziehung zwischen Temperatur und Wachsthumsgeschwindigkeit nicht besteht, geht schon aus HARTINGS Forschungen hervor, wurde von mir (a. a. O.) für Keimpflanzen ausführlich nachgewiesen und ist schon desshalb einleuchtend, weil bei der Existenz der grossen Periode und der stossweisen Schwankungen des Wachsthums eine einfache Proportionalität zwischen Wachsthum und Temperatur undenkbar ist, wenn es sich um einen und denselben Pflanzentheil zu verschiedenen Zeiten handelt. Es lässt sich bei dem jetzigen Stand unserer Kenntnisse eben nur soviel sagen, dass vom specifischen Nullpunkt ausgehend bis zum Optimum die Wachsthumsgeschwindigkeit um so grösser ist, je höher die einwirkende Temperatur liegt. Diess Alles gilt zunächst für constante Temperaturen; von DR. KÖPPEN ist (a. a. O.) die Frage ventilirt und z. Th. bejahend beantwortet worden, ob die Schwankungen der Temperatur als solche eine Verlangsamung des Wachsthums bewirken. Ich enthalte mich hier einstweilen jedes Urtheils, da ich bei Mittheilung meiner Untersuchungen darauf zurückkomme.

Wenn man von der Wirkung der Temperatur auf das Wachsthum redet, so setzt man stillschweigend voraus, dass die durch das Thermometer angezeigte Temperatur auch wirklich in dem wachsenden Pflanzentheil vorhanden sei. Handelt es sich dabei um Wurzeln, welche in Erde wachsen und um ein zwischen derselben in die Erde gestecktes Thermometer, so ist die Annahme gewiss gerechtfertigt; nicht so, wenn man die Temperatur der Luft nach einem in der Luft aufgehängten Thermometer mit dem Wachsthum eines in der Luft befindlichen Pflanzentheils vergleicht. Da sowohl die Thermometerkugel wie der Pflanzentheil ihre Temperatur der Wärmeleitung und der Strahlung verdanken, diese aber bei beiden gewiss erheblich verschieden sind, so wird schon aus diesem Grunde nur selten der Fall eintreten, dass die Temperatur des wachsenden Gewebes durch das daneben hängende Thermometer genau angegeben wird. Dazu kommt, dass in einer nicht ganz mit Wasserdampf gesättigten Luft, die Pflanze transpirirt und sich dabei abkühlt, was an dem trockenen Thermometer nicht stattfindet; anderseits ist es aber gewiss, dass ein nasses Thermometer durch die Verdunstung viel stärker abgekühlt wird als die Pflanze, deren Verdunstung im Verhältniss zur Oberfläche und Masse viel geringer ist. Hat man daher nicht Gelegenheit, das Thermometer in das beobachtete Internodium selbst einzusenken, und das ist bisher nie ge-

schehen, bei kleinen Pflanzen auch unmöglich, so giebt das Thermometer neben der Pflanze nur in sehr ungenügender Weise die Temperatur derselben an. Beobachtet man unter freiem Himmel, bei bewegter Luft und bei raschem Temperaturwechsel oder unter Verhältnissen, wo die beobachtete Pflanze direkt von der Sonne beschienen wird, so wird die Temperatur der Pflanze nicht selten eine von der des Thermometers sehr verschiedene sein; auch diese Fehlerquelle wird auf ein Minimum herabgedrückt, wenn man in einem Zimmer, bei ruhiger Luft, langsamer und geringer Temperaturschwankung und in diffusem Licht beobachtet. Weiter unten werde ich die Mittel angeben, die ich anwandte, um diesen Beobachtungsfehler möglichst unbeträchtlich zu machen.

Ganz abgesehen davon, dass unter Umständen die Temperatur eines wachsenden oberirdischen Pflanzentheils auch von der Temperatur des durch die Wurzeln aufgenommenen Wassers und durch Wärmeaustausch mit dem Boden verändert werden kann, ist der Einfluss des Bodens noch in anderer Beziehung von Gewicht. Unterliegt die Luft und mit ihr der oberirdische Pflanzentheil raschen und kräftigen Temperaturschwankungen, so machen sich diese nur langsam und in geringer Stärke im Boden und an den Wurzeln geltend; dadurch kann aber die Turgescenz der Pflanze verändert werden; ist z. B. der Boden sehr warm, so nehmen die Wurzeln viel Wasser auf und der Turgor steigert sich, wenn die Temperatur der Luft nicht hinreicht eine kräftige Verdunstung zu veranlassen (so ist es z. B. am Abend nach einem warmen Tage), umgekehrt wird der Turgor vermindert, wenn bei niederer Bodentemperatur die Wurzeln das Wasser langsam aufnehmen, während ein warmer Wind oder Sonnenschein die Blätter zu starker Transpiration anregen (so z. B. nach Sonnenaufgang nach einer kalten Nacht). Von den so bewirkten Aenderungen des Turgors aber wird die beobachtete Wachsthumsgeschwindigkeit mit beeinflusst sein. — Bei Beobachtung im Freien werden auch diese Verhältnisse das Resultat betreffs der Temperaturwirkung, die man untersucht, bis zur Unkenntlichkeit entstellen können, und auch in diesem Sinne empfiehlt sich wieder die Beobachtung im Zimmer, bei ruhiger Luft bei sehr langsamen und geringen Temperaturschwankungen, denen die Erde des Blumentopfes folgen kann; wenn auch unter solchen Verhältnissen die Temperatur derselben meist um einige Grade tiefer liegt als die der Luft, so ist doch die Differenz gering und fast constant, d. h. die als Curven verzeichneten Temperaturen der Luft und der Erde (im Topf), laufen fast parallel über einander hin.

3) Licht. Der Einfluss des Lichts auf das Längenwachsthum ist insofern bekannt, als wir wissen, dass es bei allen positiv heliotropischen Pflanzentheilen durch das Licht um so mehr verlangsamt wird, je intensiver dieses ist, dass mit zunehmender Dunkelheit das Wachsthum beschleunigt wird, so lange es nicht an Baustoffen für das Wachsthum fehlt.

— Leider haben wir noch keine brauchbare Methode, die so sehr wechselnden Lichtintensitäten so zu messen, dass die Messungen für die beobachtete Pflanze unmittelbare Geltung haben; Messungen der mit dem Auge wahrnehmbaren Helligkeit würden, auch wenn sie bequem ausführbar wären, etwas anderes darbieten, als das gesuchte Maass derjenigen Lichtstrahlen, welche das Längenwachsthum beeinflussen; diess sind nämlich, wie direkte Beobachtung und der Heliotropismus im farbigen Licht zeigt, die blauen, violetten und ultravioletten, also die unpassenderweise so genannten chemischen Strahlen, für welche Bunsen und Roscoe[1]) eine Messungsmethode ausgebildet haben, deren Handhabung für unsere Zwecke übrigens mit grossen Schwierigkeiten verbunden sein würde. Da sich aus den von ihnen gemachten Bestimmungen ergiebt, dass die „chemische Intensität" des Tageslichts im Allgemeinen von Sonnenaufgang bis Mittag rasch zunimmt, um von da bis Sonnenuntergang wieder ebenso rasch abzunehmen und da diess für den von mir verfolgten Zweck einstweilen hinreicht, so habe ich photochemische Messungen nicht vorgenommen.

4) Combination der Wachsthumsbedingungen. Versuchen wir es nun, auf Grund der gemachten Erwägungen, uns eine Vorstellung von dem Gang des Wachsthums oder seiner graphischen Darstellung, der Wachsthumscurve, eines Internodiums zu machen, welches den wechselnden und verschiedenen Wachsthumsursachen zunächst in freier Luft ausgesetzt ist, so leuchtet sofort ein, dass die Wachsthumscurve die mannigfaltigsten Formen annehmen kann, je nachdem die verschiedenen Ursachen in gleichem oder entgegengesetztem Sinne wirken, je nachdem sich das wachsende Glied in dieser oder jener Phase seiner grossen Periode befindet. Um hier sogleich die oft aufgeworfene Frage zu behandeln, ob das Wachsthum Nachts stärker oder schwächer sei, als am Tage, und ihren wahren Sinn klar zu legen, versuchen wir eine Analyse der durch die Worte Tag und Nacht bezeichneten Combinationen von Wachsthumsursachen und ihren Wirkungen. Gewöhnlich ist die mittlere Tagestemperatur höher als die mittlere Nachttemperatur, es müsste dem entsprechend das Wachsthum am Tage ausgiebiger sein als in der Nacht; das Tageslicht jedoch wirkt in entgegengesetztem Sinn und es wird darauf ankommen, ob die Intensität der wirksamen Strahlen hinreicht, die Temperaturwirkung aufzuheben; es wird sich der Erfolg auch wahrscheinlich nach der specifischen Natur der Pflanze richten, denn es ist denkbar, dass manche Pflanzen für Licht empfindlicher sind, als andere. Auch ist am Tage die psychrometrische Differenz meist grösser als in der Nacht, die Transpiration also gesteigert und es kann leicht eintreffen, dass der Turgor am Tage geringer ist als Nachts, wodurch das Wachsthum ebenfalls retardirt wird. Es könnte demnach der Fall eintreten, dass das Wachsthum am Tage, trotz der

---

1) Pogg. Annalen CVIII.

höheren Temperatur doch geringer wäre als in der Nacht und gewiss wird diess der Fall sein, wenn die Tagestemperatur der Nachttemperatur gleich oder geringer als diese ist. Ist dagegen der Temperaturüberschuss des Tages gegenüber der Nacht ein sehr beträchtlicher, so ist es wahrscheinlich, dass der Einfluss des Lichts und der Verdunstung doch überwogen wird, dass das Tageswachsthum ausgiebiger bleibt als das nächtliche, obgleich dieses durch die Dunkelheit und meist durch höheren Turgor gefördert wird. — Beachten wir ferner noch einige extreme Fälle, die hier möglich sind; es könnte sein, dass die Nachttemperatur höher wäre als die des folgenden Tages, dass zugleich Regenwetter in der Nacht die Turgescenz auf ein Maximum steigert, während am folgenden Tage bei beträchtlicher Helligkeit z. B. ein kalter Wind herrscht; in diesem Falle wird das nächtliche Wachsthum intensiver sein müssen. Im zeitigen Frühjahr oder in Herbst kann es geschehen, dass die Luft Nachts unter den specifischen Nullpunkt der Pflanze sinkt, alsdann vermag die Feuchtigkeit und die Dunkelheit das Wachsthum nicht zu fördern, es tritt Stillstand ein und das Wachsthum erfolgt nur am Tage, wo die Temperatur sich hinreichend über den specifischen Nullpunkt erhebt. — Denken wir uns ferner die äusseren Wachsthumsursachen so vertheilt, dass dieselben für sich allein, einen nicht allzubeträchtlichen Unterschied des Wachsthums am Tage und in der Nacht bewirken würden, so kann der Unterschied gradezu ausgeglichen, oder selbst umgekehrt werden, durch die verschiedene Wachsthumsfähigkeit der Pflanze zu verschiedenen Zeiten, z. B. durch den Einfluss der Phase der grossen Periode; hat ein beobachtetes Internodium z. B. Nachts bei sonst ungünstigeren Bedingungen sein Maximum der Wachsthumsfähigkeit (den Gipfel der grossen Curve) erreicht, so kann bei sonst günstigeren Bedingungen am folgenden Tage das Wachsthum doch kleiner sein.

Diese und zahlreiche andere Combinationen sind schon dann möglich, wenn man nur die mittleren Werthe von Tag und Nacht vergleicht. Noch grösser wird die Zahl der möglichen Fälle, wenn man sich ein Bild der Ereignisse nach stündlichen Beobachtungen zu machen sucht; denken wir uns die grosse Curve des Wachsthums eines Internodiums verzeichnet, so werden die stündlichen Aenderungen der Temperatur, die stündlichen Aenderungen der Lichtintensität und der psychrometrischen Differenz bald in diesem, bald in jenem Sinne den Verlauf der Curve abändern; die bei constanten äusseren Verhältnissen in Form eines einfachen Bogens auf- und absteigende Curve wird sich in eine vielfach und verschieden ausgezackte Linie verwandeln, an deren Zacken man das tägliche und nächtliche Auf- und Abschwanken der Zuwachse mehr oder minder deutlich erkennt; die Grösse, Form und Lage dieser Zacken ist das jeweilige Resultat des Zusammenwirkens der Temperatur, Feuchtigkeit und des Lichts.

Diese Andeutungen werden genügen, um zu zeigen, wie wenig Sinn es hat, wenn manche Beobachter, ohne genaue Verfolgung der Wachs-

thumsursachen einfach feststellen wollen, in welchem Verhältniss das Nacht- und Tageswachsthum zu einander stehen; sie zeigen aber auch, wie schwierig, ja unmöglich es ist, den Einfluss jedes einzelnen mitwirkenden Factors (der Temperatur, des Lichts, der Feuchtigkeit, der grossen Periode, der stossweisen Schwankungen) aus Beobachtungen erschliessen zu wollen, die man unter freiem Himmel oder in Gewächshäusern macht, wo sämmtliche Wachsthumsursachen beständigen und heftigen Schwankungen gleichzeitig unterworfen sind. Die Betrachtung der vorliegenden Literatur am Schluss dieser Abhandlung wird hinreichende Illustrationen für das eben Gesagte liefern.

Die Aufgabe ernster Forschung in dieser Richtung kann vielmehr nur die sein, die Wirkung jeder einzelnen Wachsthumsursache für sich ausführlich zu studiren, woraus sich dann der gewöhnliche und natürliche Verlauf der Erscheinungen genauer, als es bisher möglich war, analysiren, combiniren und voraussagen lässt.

Ich habe, um einen ersten Schritt zur Erreichung dieses Zieles zu thun, zu bestimmen gesucht: 1) den Verlauf der grossen Periode einiger Internodien oder die Form der grossen Wachsthumscurve bei constanten äusseren Wachsthumsbedingungen; 2) die Wirkungen schwacher langsamer und starker rascher Temperaturschwankungen auf den Gang der Zuwachscurve; wobei die Pflanzen in möglichst constanter Finsterniss und bei möglichst constantem Turgor erhalten wurden; 3) die Wirkungen des Wechsels von diffusem Tageslicht und nächtlicher Finsterniss bei möglichst schwachen Temperaturschwankungen, die sich hier leider nicht immer in erwünschter Weise nivelliren lassen.

Wenn die von mir erlangten Resultate trotz der vielen darauf verwendeten Zeit, doch nur als erste schwache Anfänge gelten können, so liegt die Schuld einerseits in dem Umstande, dass ich zunächst die Beobachtungsmethoden festzustellen, die Fehlerquellen zu studiren, und somit mir und meinen Nachfolgern den Weg zu ebenen hatte; anderseits liegt es in der Natur der Sache, dass jede Beobachtungsreihe mehrere, selbst viele Tage erfordert und dass zufällige Störungen leicht ganze Beobachtungsreihen unbrauchbar machen können. Nimmt man noch dazu, dass man es hier beständig mit mehreren langen Zahlenreihen zu thun hat, die oft erst umgerechnet, in verschiedener Weise tabellirt und endlich in geeigneter Weise graphisch dargestellt werden müssen, wenn sie überhaupt ein klares und übersichtliches Bild der Ereignisse liefern sollen, beachtet man ferner, dass es nöthig ist, Monate lang zu bestimmten Tagesstunden pünktlich auf dem Platze zu sein, um die Ablesungen zu machen, so wird man zugeben, dass es sich hier um Beobachtungen handelt, welche die ganze Energie und Geduld des Beobachters herausfordern, und schliesslich doch nur ein unscheinbares Resultat liefern.

II. Apparate und Beobachtungsmethoden.

Die von mir benutzten Methoden zur Beobachtung des Längenwachsthums in kurzen Zeiträumen (fast immer Stunden) haben das Eine gemeinsam, dass ich nicht direkt mit dem an die Pflanze angelegten Zollstab messe, sondern am oberen Ende desjenigen Pflanzentheils, dessen Längenwachsthum beobachtet werden soll, einen dünnen Seidenfaden befestige, der über eine leichtbewegliche, sorgfältig abgedrehte hölzerne Rolle läuft und einen Zeiger in Bewegung setzt, durch welchen die Zuwachse unmittelbar oder in proportionalen Werthen angegeben werden. Es waren vorwiegend drei Formen von Apparaten, die ich angewendet habe und von denen ich den einfachsten als „den Zeiger am Faden", den zweiten als „Zeiger am Bogen", den brauchbarsten und complicirtesten als „das selbstregistrirende Auxanometer" bezeichnen will.

1) Zeiger am Faden. Der an der Pflanze befestigte Faden wird senkrecht aufwärts über eine kleine, leichtbewegliche Rolle geführt, die sich ungefähr 30—40 Ctm. über dem Befestigungspunkt des Fadens befindet. Das freie, von der Rolle herabhängende Fadenende wird mit einer Schlinge versehen, in welche ein Gewicht eingehängt wird; bei dünnen Internodien genügt ein Gewicht von 10—15 Gramm; bei dicken, festen und zu Nutationen geneigten Internodien nimmt man zweckmässig stärkere Gewichte, um Nutationskrümmungen unmöglich zu machen. An dem Gewicht ist eine feinspitzige Nähnadel so befestigt, dass ihre Spitze als Zeiger an der Millimetertheilung eines senkrechten Maassstabes [1]) hinabgleiten kann; zeigt die Theilung noch halbe Millimeter an, so gelingt es bei einiger Uebung, auch Zehntelmillimeter mit ziemlicher Sicherheit zu schätzen, besonders wenn man bei dem Ablesen die Skale und die Nadelspitze mittels eines kleinen Spiegels beleuchtet. — Damit die Nadelspitze der Theilung anliege, ohne jedoch in ihrem Hinabsinken gehindert zu sein, dreht man das Gewicht am Faden 3—4 mal herum; nach dem Freilassen sucht sich die Torsion des Fadens auszugleichen und bewirkt so, dass der Zeiger mit geringer aber genügender Kraft der Theilung angedrückt wird.

Der hier, wie bei den folgenden Apparaten verwendete Faden ist immer dünner, fester Seidenzwirn, der vorher, um seine Oberfläche zu glätten, einige Male durch erweichtes Wachs und dann durch die Finger gezogen wurde.

Die Befestigung des Fadens an der Pflanze kann hier, wo das spannende Gewicht gering ist, einfach dadurch bewirkt werden, dass man einen Sförmig gebogenen Silberdraht von etwa 0,4 Mill. Dicke in das

---

1) Bei diesen wie den im Folgenden angegebenen Messungen benutze ich die sogen. prismatischen Maassstäbe; sie sind aus hartem Holz in Form eines Lineals; eine zugeschärfte Kante trägt die Millimetertheilung, die andere zeigt Zolle und Linien.

Internodium einsticht und in die obere Krümmung die Schlinge des Fadens einhakt. — Bei den beiden folgenden Apparaten, wo der lange Zeiger sammt dem Gewicht an der Rolle eine grössere Spannung des Fadens bewirkt, ist es zweckmässiger, die Befestigung in folgender Weise herzustellen: man macht an einem Fadenstück von etwa 8 Ctm. Länge beiderseits eine Schlinge, steckt die eine durch die andere und legt den Faden so um das obere Ende des Internodiums unmittelbar unter der Basis des Blattes; mit Hilfe einer Pincette lässt sich diese Ligatur fest anlegen; die freie Schlinge dieses Fadenstückes wird in die untere Oese eines graden Silberdrahtstückes gehängt, dessen obere Oese das untere Ende des an der Rolle befestigten Fadens aufnimmt (Fig. 1 in *B*). Das Dickenwachsthum des Internodiums bewirkt, dass die Ligatur in eine Rinne eingeschlossen und so unverrückbar befestigt wird. — Es ist bei der Befestigung des Fadens besonders darauf zu achten. dass er nicht an der darüber liegenden Endknospe sich reibt, noch mehr, dass nicht im Verlauf des Versuchs neu sich entfaltende Blätter ihn seitwärts drücken; solche Blätter müssen vorher von der Knospe entfernt werden.

Es bedarf kaum der Erinnerung, dass die Pflanze, Rolle und der Zollstab während der Beobachtung unverrückbar feststehen müssen; um diess zu erreichen stelle ich den Blumentopf auf die rauhgeschliffene Seite einer Glasscheibe, die Rolle und der Zollstab werden in kleine eiserne Schraubstöcke befestigt, die in Ständern mit sehr schwerem Fussstück mit Stellschraube eingelassen sind; (über die zu vermeidenden Fehler dieses und der folgenden Apparate s. unten).

2) Der Zeiger am Bogen ist der in meinem Lehrbuch der Botanik (II. Aufl. 1870 p. 632 in Fig. 444) abgebildete Apparat; ich verweise auf die dort gegebene Beschreibung mit der Bemerkung, dass es unter Umständen bequemer ist, das spannende Gewicht sogleich an der ersten Rolle und zwar (in der Fig.) links auf der Seite des Zeigers zu befestigen, der dann bei fortschreitendem Wachsthum sich senkt, statt wie dort emporzusteigen.

3) Das selbstregistrirende Auxanometer[1]) ist der in Fig. 1 dargestellte Apparat; er besteht aus den beiden Haupttheilen *A* und *C*,

1) Grisebach hat in seiner oben cit. Abhandlung das zur Markirung der Internodien benutzte Zahnrädchen bereits Auxanometer genannt, das diesen Namen wohl kaum verdienen dürfte; da mein Apparat nicht füglich anders genannt werden kann, so mag er denselben Namen tragen; zur Unterscheidung wird der Zusatz „selbstregistrirend" genügen. Eine unvollkommenere Form dieses Apparates, wo das Uhrwerk durch ein zu Centrifugalversuchen bestimmtes Laufwerk ersetzt war, habe ich 1869 und 1870 benutzt und bereits in den Verhandl. der physik. medic. Ges. in Würzburg am 4. Febr. 1871 beschrieben. Bei den hier mitgetheilten Versuchen habe ich mich ausschliesslich des neuen Apparates mit dem Uhrwerk bedient. — Das Uhrwerk ist von Prof. Hess an der hiesigen Gewerbeschule construirt und von Herrn Uhrmacher Geist zusammengesetzt und justirt; der Letztere hat sich bereit erklärt es auf Bestellung für 100 fl. zu liefern.

von denen der erste eine einfachere Form des „Zeigers am Bogen", der andere ein durch ein Uhrwerk (*D*) langsam rotirender Cylinder (*C*) ist,

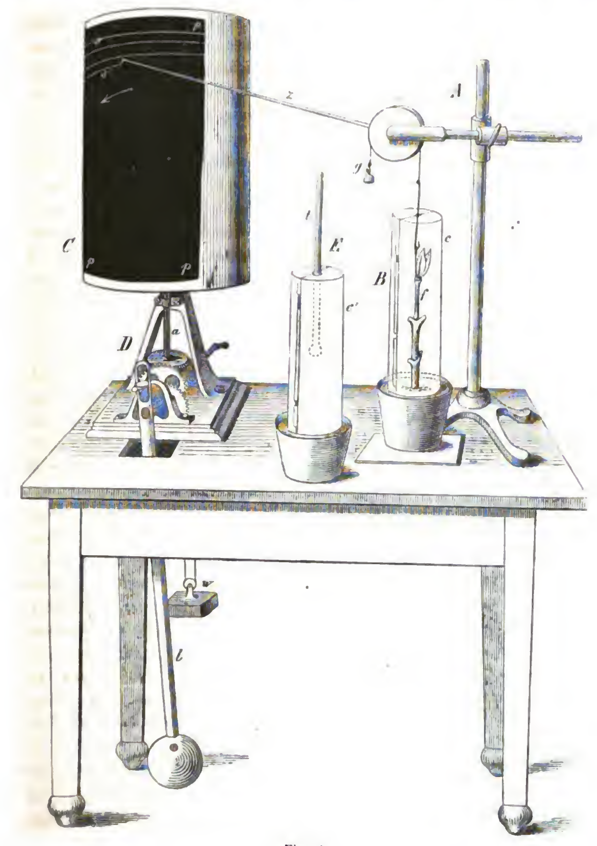


Fig. 1.

— Eine gewisse Aehnlichkeit meines Apparates mit dem bekannten Kymographion wird jeder sogleich bemerken; in der That war es dieses sinnreiche Instrument, welches mich zur Construction meines Apparates veranlasste.

der ein berusstes Papier *pppp* trägt, an welchem die Zeigerspitze (*s'*) anliegt und so ihren jeweiligen Stand durch eine weisse Linie *s* markirt. Die Drehungszeit des Cylinders lässt sich durch Verschiebung des Gewichts am Pendel (*l*) des Uhrwerks reguliren; ich habe bei allen meinen Versuchen eine solche Pendellänge benutzt, dass der Cylinder grade in einer Stunde eine volle Umdrehung machte. Da sich der Apparat bei einer viermonatlichen, ununterbrochenen Benutzung durchaus zweckmässig erwiesen hat, so lasse ich eine ausführliche Beschreibung folgen.

Der Eisenstab des Ständers *A*, welcher auf einem schweren eisernen Dreifuss ruht, trägt den auf- und abwärts, sowie horizontal verschiebbaren Eisenstab, an welchem die Rolle *r* befestigt ist.

Die Rolle besteht aus sehr festem, dichtem Holz (Pockholz von Guajacum officinale); ihre Rinne ist sorgfältig abgedreht, die Axe genau centrirt, in ihrem Lager mit Stahlspitzen sehr leicht beweglich. In der Rinne ist (oben an der Figur) ein kurzer Eisenstift radial eingesetzt, an welchem einerseits (rechts) der an der Pflanze *f* befestigte Faden, anderseits (links) der das Gewicht *g* tragende Faden eingehängt ist. — Neben der Rinne und ungefähr um 90° von dem vorigen entfernt, ist ein zweiter langer Eisenstift (eine starke Stricknadel) in genau radicaler Richtung eingelassen, auf den ein grader dünner Strohhalm *z* (am besten von Molinia coerulea) aufgeschoben und befestigt ist; das dünnere Ende des Halms trägt eine schief durchgesteckte und mit Siegellack eingeschmolzene Nadel, welche auf dem Papier schreibt; unter Zeigerspitze verstehe ich im Folgenden die Spitze dieser Nadel, unter Zeigerlänge die Entfernung derselben vom Centrum der Rolle. Ueber die richtige Wahl des Verhältnisses zwischen Zeigerlänge und Rollenradius s. unten.

Der rotirende Cylinder *C* besteht aus starkem Zinkblech; er hat einen Durchmesser von 29, eine Höhe von 44 Ctm. Seine untere Oeffnung ist von einem festen eisernen Kreuz überspannt, in dessen Kreuzungspunkt sich eine 10 Ctm. hohe, sehr solide, conische Hülse befindet, die sich auf das conische Ende der senkrechten Axe *a* aufschieben und leicht wieder abheben lässt. Die senkrechte Axe *a* und mit ihr der Cylinder wird durch das Uhrwerk *D* gedreht; dieses ist auf einer Eisenplatte befestigt, mittels derselben und einer Holzunterlage in die Tischplatte eingeschraubt; vorn hängt das Pendel durch eine Oeffnung in der Tischplatte herab, hinten ist die Kurbel zum Aufziehen des 2 Kilo schweren Gewichts *w*, dessen Fallhöhe von der Höhe des Tisches abhängt; bei meinem Apparat beträgt sie nur ungefähr 70 Ctm.; trotzdem läuft das Uhrwerk ungefähr 22 Stunden.

Die Hülse, mittels deren der Cylinder auf der rotirenden Axe ruht, befindet sich nicht genau in seiner Mitte, sondern etwas seitwärts gerückt; die Rotationsaxe fällt also neben die Axe des rotirenden Cylinders; die Excentricität beträgt 1 Ctm.; der längste Arm des Kreuzes ist 15, der

kürzeste 14 Ctm. lang, die beiden anderen messen etwas weniger als 14,5 Ctm. Durch diese Einrichtung wird erzielt, dass die Zeigerspitze den Cylinder nur während kürzerer Zeit und an der Stelle, wo sich das berusste Papier befindet, berührt, während sie in der übrigen Zeit jeder Umdrehung frei schwebt; bei jeder neuen Umdrehung beginnt die Berührung erst schwach, wird immer stärker, dann wieder schwächer. Fiele die Drehungsaxe mit der Cylinderaxe zusammen, so würde die Zeigerspitze den Cylinder beständig berühren (auf ihm eine zusammenhängende abwärts laufende Schraubenlinie beschreiben): es könnte dadurch leicht die Spannung des Fadens an der Pflanze verändert und eine Tendenz des Zeigers, sich horizontal zu stellen, durch die beständige Reibung erzeugt werden; beides wird durch die Excentricität vermieden.

Bevor nun der Apparat in Gang gesetzt wird, nimmt man den Cylinder ab, um das Papier aufzukleben; ich verwende dazu das auf einer Seite geglättete Glacépapier, in Stücken von ungefähr 40 Ctm. Höhe und 30 Ctm. Breite. Das Papier wird mit der glatten Seite nach unten auf den Tisch gelegt, die rauhe Seite mit einem mässig feuchten Schwamm gleichmässig überstrichen, die beiden langen Ränder mit Gummilösung überzogen; so bleibt das Papier liegen, während man den Cylinder so darüber hinrollt, dass die Mitte des Papiers auf die Seite zu liegen kommt, welche dem längsten Radius des Kreuzes entspricht. Das Papier bleibt von selbst kleben, man streicht die Ränder glatt und stellt den Cylinder frei hin, am besten in den Sonnenschein, wo binnen 10—15 Minuten das Papier trocken und vollkommen straff gespannt ist, ohne irgend eine Falte zu zeigen. Ist diess erfolgt, so führt man den Cylinder in horizontaler Richtung über einer grossen, breiten Terpentinölflamme langsam so hin und her, bis das Papier überall gleichmässig mit Russ bedeckt ist.

Hat man den so vorbereiteten Cylinder auf das Uhrwerk gesetzt, so stellt man die Rolle, an der der Faden bereits befestigt ist, so hoch, dass die Zeigerspitze unter den oberen Rand des Papiers zu liegen kommt. Man giebt dem Cylinder vorher am besten eine solche Stellung, dass die Zeigerspitze neben das Papier (bezüglich der Drehung vor den vorderen Rand desselben) fällt und durch eine seitliche Drehung des Ständers A rückt man diese nun so, dass sie den Cylinder leise berührt. Erst jetzt setzt man das Pendel des Uhrwerks in Gang; die Zeigerspitze kratzt auf dem berussten Papier eine fast horizontale, weisse Linie, schwebt dann frei; bei Beginn der zweiten Drehung hat die Zeigerspitze vermöge des Wachsthums der Pflanze bereits eine tiefere Stellung angenommen, sie schreibt jetzt eine zweite horizontale Linie u. s. w.; so geht es Tag und Nacht fort bis die Zeigerspitze den unteren Rand des Papiers erreicht, auf welchem man nun eine Anzahl von horizontalen Linien verzeichnet findet, aus deren Entfernungen die stündlichen Zuwachse zu entnehmen sind. Bevor man nun den Cylinder abhebt, stellt man das Uhrwerk, dreht den

Cylinder so, dass die Zeigerspitze ungefähr die senkrechte Mittellinie des Papiers trifft und indem man den Finger unter die Mitte des Halms legt, hebt man diesen aufwärts, wobei die Zeigerspitze einen Kreisbogen auf dem Papier beschreibt. Diese Linie giebt den wahren Weg an, den der Zeiger während der ganzen Zeit beschrieben hat; der Bogen schneidet die horizontal-geschriebenen Linien unter verschiedenen Winkeln und die zwischen ihnen liegenden Bogenstücke sind es, welche gemessen werden müssen, diese Bogenstücke sind den Zuwachsen proportional, welche in den Zwischenzeiten, also nach Obigem in je einer Stunde stattgefunden haben. Man hebt nun den Cylinder ab, stellt ihn aufrecht hin, schneidet rechts und links die aufgeklebten Ränder ab und zieht das Papier durch eine Auflösung von Colophonium in Alkohol, worauf es zum Trocknen aufgehängt wird. Ist es trocken, so schreibt man mit einer Messerspitze die nöthigen Bemerkungen auf, setzt an jede Horizontallinie die Bezeichnung der Stunde, in welcher sie geschrieben wurde u. s. w. — Unterdessen hat man den Cylinder gereinigt, ein neues Papier aufgezogen und den Apparat neu in Gang gesetzt; es lässt sich leicht so einrichten, dass die erste Linie auf dem neuen Papier grade um eine Stunde später als die letzte des ersten Papiers geschrieben wird; in der ganzen Beobachtungsreihe fehlt dann nur die eine Stunde, für welche man den Mittelwerth der vor- und nachhergehenden Stunde in die Tabelle einsetzen kann.

Fig. 2.

Fig. 2 zeigt das Facsimile eines kleinen Stückes von einem berussten

und vom Zeiger beschriebenen Papier; die Horizontallinien sind vom Zeiger während der Drehung des Cylinders geschrieben, die aufrechte Bogenlinie am Ende des Versuchs durch Hebung des Zeigers hervorgebracht; die Pfeile geben die Drehungsrichtung des Cylinders an. Die Zahlen bedeuten die Stunden der daneben geschriebenen Tageszeiten.

Bevor ich auf die Messung der Zuwachse eingehe, mögen hier noch einige Bemerkungen über die zweckmässige Wahl der Zeigerlänge Platz finden.

Wächst die Pflanze unterhalb des Befestigungspunktes des Fadens, z. B. um ein Mill. während einer Umdrehung des Cylinders, so wird ein ebensolanges Fadenstück auf der Rolle aufgewickelt und indem diese sich entsprechend dreht, sinkt die Zeigerspitze; der Bogen, den diese dabei beschreibt, ist nun n Mill. lang, wenn der Zeiger n mal so lang ist, als der Radius der Rolle. Es könnte nun scheinen, als ob die Beobachtungen um so genauer würden, je grösser man dieses Verhältniss n, welches ich einfach die Vergrösserung der Zuwachse nennen will, wählt. Das ist aber keineswegs der Fall, denn mit der Vergrösserung treten auch die Fehler des Apparates stärker hervor. Wollte man die Vergrösserung dadurch steigern, dass man bei nicht allzulangem Zeiger die Rolle möglichst klein nimmt, so würde eine etwaige Excentricität der Rolle sehr in's Gewicht fallen, die Unebenheiten des Fadens würden sich stärker als auf einer grossen Rolle geltend machen, auch würde ein Zuwachs der Pflanze um wenige Millimeter eine so starke Senkung des Zeigers bewirken, dass man das Papier sehr häufig wechseln müsste; wollte man dagegen bei beträchtlicher Grösse der Rolle die Vergrösserung dadurch sehr bedeutend steigern, dass man dem Zeiger eine sehr grosse Länge giebt, so würde das Gewicht desselben sofort Schwierigkeiten bereiten, er würde bei der nöthigen Dünne sehr labil werden, und auch hier hätte eine allzustarke Vergrösserung den Nachtheil, dass man das Papier zu oft wechseln müsste. — Maassgebend für die Wahl der Vergrösserung ist vielmehr, dass die stündlich geschriebenen Linien weit genug von einander abstehen, damit die Messungsfehler hierbei unschädlich werden; dazu genügt, dass die Bogenstücke zwischen ihnen 4—6 Mill. lang sind; ferner ist maassgebend, dass der Zeiger eine solche Länge habe, dass der von seiner Spitze beschriebene Bogen auf dem Papier in einem geeigneten Verhältniss zum Krümmungsradius des Cylinders stehe; da der Zeiger nämlich sich in einer senkrechten Ebene bewegt, aber auf einer senkrechten Cylinderoberfläche schreibt, so würde bei zu geringer Länge des Zeigers das Schreiben bald aufhören, wenn er einen zu grossen Winkel mit der Vertikale zu machen beginnt. Auch ist eine beträchtliche Länge des Zeigers desshalb wünschenswerth, damit die Bogenstücke zwischen den Zuwachslinien als grade Linien gemessen werden können. Um nun den Zeiger ziemlich lang zu machen, ohne dass die Vergrösserung zu bedeutend wird, muss auch die Rolle eine hinreichende Grösse haben, was

übrigens auch andere Vortheile mit sich bringt. Die Wahl der Vergrösserung müsste sich natürlich auch nach der Geschwindigkeit des Wachsthums richten; so lange man es indessen mit Pflanzen zu thun hat, die in der Stunde um höchstens 1 bis 2 Mill. wachsen, kommt man mit der Einrichtung aus, die ich für meine sämmtlichen unten mitgetheilten Beobachtungen benutzt habe; die Zeigerlänge beträgt nämlich nahezu 60 Ctm., der Rollenradius (d. h. in der Rinne gemessen) nahezu 5 Ctm.; wonach also die Vergrösserung, wie auch direkte Messung zeigt, eine 12fache ist.

Obwohl es im Allgemeinen ziemlich gleichgiltig ist, die Vergrösserung genau zu kennen, da man für Beantwortung der meisten Fragen nur die Verhältnisszahlen der Zuwachse zu kennen braucht, kann es doch der Controlle wegen erwünscht sein, die Vergrösserung genau zu bestimmen. Es ist das sehr einfach, wenn man den Radius der Rolle vom Centrum bis zum tiefsten Theil der Rinne genau messen kann, da dann der Quotient des Radius in die Zeigerlänge die Vergrösserung darstellt; allein diese Messung ist bei grösseren Rollen nicht leicht, und genau genommen muss die halbe Dicke des Fadens dem Rollenradius zugerechnet werden und auch diese Fadendicke ist nicht leicht zu bestimmen. Es ist daher zweckmässig die Vergrösserung direkt zu bestimmen, was sich in folgender Weise erreichen lässt.

Statt des Blumentopfs mit der Pflanze stellt man unter die Rolle einen schweren Ständer, der einen kleinen Schraubstock trägt; in diesen spannt man einen Millimeterstab, an welchem der Faden befestigt ist. Nachdem die Zeigerspitze an das berusste Papier des Cylinders angelegt und zur Ruhe gekommen ist, hebt man den Millimeterstab in dem geöffneten Schraubstock um genau 1 Ctm. und schraubt fest. Dasselbe Verfahren wiederholt man an verschiedenen Stellen des berussten Papiers mehrfach; die mittlere Länge der so erhaltenen Bogen ist *n* Ctm. Theilt man nun den Bogen mittels des Zirkels in 10 gleiche Theile, so entspricht jeder einem Millimeter des Maassstabs u. s. w. und man kann den so getheilten Bogen dazu benutzen, auf dem schwarzen, fixirten Papier die Zuwachse unmittelbar in Millimetern abzulesen.

Die Messung der Zuwachse kann mittels des soeben beschriebenen getheilten Bogens auf Papier direkt geschehen, indem man denselben an die mit dem Zeiger geschlagene Bogenlinie anlegt und die Bogenlängen zwischen den parallelen von der Zeigerspitze gezeichneten Linien abliest. Ich habe es jedoch vorgezogen, die Bogenstücke zwischen den Zuwachslinien unmittelbar mit dem Millimeterlineal zu messen: so lange dieselben nur 15—20 Mill. lang sind, können sie bei der Länge meines Zeigers ohne irgend erheblichen Fehler als grade Linien betrachtet und als solche gemessen werden; in den Tabellen ist diess durch die Ueberschrift „Zuwachse in Millimetern am Bogen" angedeutet. — Der Vollständigkeit wegen sei noch auf eine kleine Ungenauigkeit hingewiesen, die darin

liegt, dass man die Zuwachse direkt auf dem mit dem Zeiger beschriebenen Bogen misst. Offenbar fallen die Durchschnittspunkte desselben mit den Zuwachslinien nicht auf die Stellen, die genau einer ganzen Umdrehung entsprechen. Da jedoch von einer zur andern Linie die seitliche Stellungsänderung der Zeigerspitze am Cylinder eine nur unbeträchtliche im Vergleich zum Umfang des Cylinders ist, so lange die Zuwachse selbst 1—2 Mill. pro Stunde nicht überschreiten, so kann der so entstehende Messungsfehler bei Zuwachsen unter 2 Mill. pro Stunde unbedenklich vernachlässigt werden, zumal wenn man den Zeiger jedesmal am Anfang des Versuchs so stellt, dass er im Laufe desselben einen Winkel von höchstens 25—30° mit dem Horizont zu erreichen im Stande ist, was durch Einschiebung verschieden langer Drahtstücke am Faden erreicht werden kann; grade mit Rücksicht auf diese Verhältnisse ist es nöthig, dass der Zeiger eine beträchtliche Länge ohne zu starke Vergrösserung der Zuwachse habe.

Fehlerquellen. Vorausgesetzt, dass die Aufstellung der genannten Apparate sorgfältig geschehen, die Rollen gut abgedreht und centrirt, die Fäden richtig befestigt sind, so bleiben dennoch manche Bedenken gegen die Genauigkeit ihrer Angaben zu beseitigen. Diese Bedenken beziehen sich z. Th. auf Veränderungen an den Apparaten selbst, z. Th. auf Veränderungen an den beobachteten Pflanzen, durch welche die als Zuwachse bezeichneten Grössen mit beeinflusst sein können.

A. Durch den Apparat bedingte Fehler. a) Fehler, welche an allen drei Apparaten vorkommen, können entspringen aus der Dehnbarkeit und Hygroskopicität des Fadens, aus der Volumenänderung des Bodens im Blumentopf bei Veränderung seines Wassergehaltes. Die durch Wärmeausdehnung etwa bedingten Veränderungen können im Voraus als ganz unerheblich unbeachtet bleiben.

Da die durch die Dehnbarkeit und Elasticität des Fadens bedingten Längenänderungen der Fadenlänge proportional sind, so kommt es vor Allem darauf an, diese so viel als möglich zu vermindern; es lässt sich diess am einfachsten durch Einschaltung von Drahtstücken thun, die oben und unten scharf umgekrümmt sind; bei dem Zeiger am Faden kann so die Fadenlänge auf 20—30 Ctm., bei den beiden anderen Apparaten auf 10—12 Ctm. verkürzt werden. Um den aus der Dehnbarkeit des Fadens entspringenden Fehler zu beseitigen, genügt es, den Faden vor der Benutzung an dem Apparat unter derselben Spannung, die er später haben soll, längere Zeit hängen zu lassen und dann immer denselben Faden zu benutzen. Die Ausgiebigkeit der hygroskopischen Störungen eines solchen Fadens lässt sich mit Hilfe des Auxanometers leicht prüfen, indem man ihn statt an einer Pflanze, in einem Schraubstock befestigt. So fand ich bei der von mir benutzten Einrichtung, dass die Zeigerspitze bei 24 Umdrehungen eine einzige Linie auf dem berussten Papier hinterliess, die allerdings ungefähr 1 Mill. Breite hatte; dabei wechselte die Temperatur und die Luftfeuchtig-

keit in weiteren Grenzen, als bei den meisten Versuchsreihen mit Pflanzen. Es kommt somit auf eine Umdrehung ein durchschnittlicher Fehler von 0,04 Millimeter, was schon bei der Ablesung der multiplicirten Werthe des zweiten und dritten Apparates ausserhalb der Messbarkeit liegt und bei den direkten Zuwachsangaben des Zeigers am Faden gar nicht mehr in Betracht kommt, da dort der Fehler noch mit 12 zu dividiren wäre.

Viel grösser sind die Fehler, welche durch Zusammenziehung und Ausdehnung der Erde im Blumentopf entstehen können. Vor Allem ist es nöthig, dass man nur solche Pflanzen zum Versuch verwendet, die bereits Wochen oder Monate lang in demselben Blumentopf gewachsen sind, bei denen sich ein Gleichgewichtszustand der Erde hergestellt hat. Ist diess geschehen so kann man die Erde im Topf als unbeweglich betrachten, wenn man sie durch tägliches Giessen vor dem Versuch beständig feucht erhält. Um eine Vorstellung davon zu gewinnen, wie gross die Fehler sein können, welche durch starkes Austrocknen und nachträgliche Befeuchtung des Bodens verursacht werden, machte ich folgenden Versuch am Auxanometer. Ein Blumentopf von 15 Ctm. Höhe und 16 Ctm. Weite, d. h. von der mittleren Grösse derer, in denen die beobachteten Pflanzen standen, enthielt seit 4 Monaten den Wurzelstock einer Dahlia; die Erde war seit 14 Tagen nicht mehr gegossen worden und beträchtlich ausgetrocknet. Der Stumpf des vorjährigen, völlig verholzten Stammes ragte 3 Ctm. über die Erde hervor; an ihm wurde der Faden des Auxanometers mittels eines starken Drahthakens befestigt; die noch frischen Seitensprosse wurden entfernt. Bei den beiden ersten Umdrehungen fielen die vom Zeiger gezeichneten Linien fast genau auf einander; dann wurde die Erde begossen, so dass das Wasser reichlich unten herauslief (der Topf stand wie immer auf einer Glasplatte); der nächste Zeigerstrich fiel nun um 0,5 Mill. tiefer, der folgende um 3 Mill., der dritte um 2,5 Mill., der vierte um 1,5 Mill., der fünfte um 1,5 Mill. unter den je vorhergehenden; ein Zeichen, dass sich der Befestigungspunkt des Fadens um den 12. Th. dieser Werthe gehoben hatte. Die 17 folgenden Linien fielen sämmtlich unter einander und nahmen auf dem Papier eine Breite von 10 Mill. ein, indem ihre Entfernungen immer kleiner wurden; am folgenden Tage wurde abermals begossen, (nachdem der Zeiger tiefer gestellt war) und in der ersten Stunde fiel die Zeigerspitze um 1,2 Mill., in den sieben folgenden Stunden noch um 5,5 Mill.; die folgenden 14 Linien nahmen 3,3 Mill. Breite ein; als dann nochmals gegossen wurde, nahmen die folgenden 24 Striche unter einander fallend 3,5 Mill. Breite ein; nach abermaligem Giessen fielen die folgenden 22 Striche in ein Band von 2 Mill. Breite Die Quellung des Bodens (an der wohl auch das Holz des Stumpfes theilnahm) hatte somit 4 Tage gedauert und die während dieser Zeit geschriebenen Striche nahmen auf dem berussten Papier 32,5 Mill. Höhe ein, was einer

Erhebung des Befestigungspunktes um 2,7 Mill. entspricht. Die Temperatur der Luft sank dabei langsam von 19,8 auf 17,7° R.

Erst in den nun folgenden 24 Stunden bewirkte das Begiessen keine weitere Veränderung mehr, die 24 folgenden Striche bildeten ein weisses Band von 1 Mill. Breite, als ob der Faden ebenso lange an einem Schraubstock befestigt gewesen wäre. In den nächsten 8 Tagen, wo der Topf bei hoher Lufttemperater (20—15° R.) beträchtliche Wassermengen durch Verdunstung verlor, stieg die Zeigerspitze doch nur um etwa 2 Mill. zurück, die in dieser Zeit beschriebenen Linien bildeten ein einziges weisses Band.

Daraus geht nun hervor, dass die Erde des Topfes schon längere Zeit vor dem Versuch gleichmässig feucht gehalten werden muss, damit der Stand des Zeigers durch das Begiessen nicht weiter alterirt werde und ferner, dass, wenn die Erde vorher gesättigt war, man während einer Versuchsdauer von 6—8 Tagen nicht zu giessen braucht, weil die Niveauänderung durch Austrocknung zwischen je zwei Zuwachslinien unmessbar klein ist. Das wird sich bei anderen Erdmischungen vielleicht anders gestalten, der Versuch sollte aber auch nur die von mir benutzte controliren. Uebrigens wurden kleinere Töpfe (Versuch mit Polemonium und Aquilegia) während des Versuchs dadurch vor beträchtlicher Verdunstung geschützt, dass sie in einem sie eng umgebenden Zinkblechgefäss standen und oben mit halbirten Glasdeckeln bedeckt waren.

b) Fehler der Apparate mit Vergrösserung der Zuwachse. Bei dem Zeiger am Bogen und bei dem Auxanometer können ausser dem genannten noch andere Fehler die Beobachtung stören. — Die anfangs vermuthete mögliche Krümmung des Strohhalmzeigers unter dem Einfluss der wechselnden Luftfeuchtigkeit erwies sich durch den Versuch am Auxanometer als ganz unbedeutend, indem bei Einspannung des Fadens in den Schraubstock binnen 24 Stunden, auch wenn Temperatur und psychrometrische Differenz stark schwankten (es wurde z. B. in einer Regennacht das Fenster geöffnet), die Linien des Zeigers in ein weisses Band von 1 Mill. Breite zusammenfielen. — Dem Umstand, dass der auf der Rolle sich aufwickelnde Faden, auch wenn er geglättet ist, noch Unebenheiten besitzt, schreibe ich es zu, dass die weissen Linien, die der Zeiger auf dem Papier schreibt, ab und zu kleine Hebungen und Senkungen zeigen, die jedoch so unbeträchtlich sind, dass sie, wie die Tabellen zeigen, das Resultat der Messungen nicht merklich stören. — Einen Fehler dieser vergrössernden Apparate hat man endlich darin zu vermuthen, dass das mechanische Moment des Zeigers an der Rolle sich ein wenig ändert, wenn er aus der schiefen in die horizontale Lage, oder umgekehrt übergeht, wodurch die Spannung des Fadens und der Zug, den das wachsende Internodium erleidet, verändert werden muss. Ganz beseitigen lässt sich der Fehler wohl nicht, er wird aber um so weniger merklich, je schwerer die Rolle ist und je grösser das spannende Gewicht (Fig. 1 *g*); bei den unten mitgetheilten

Versuchen war dieses immer 20 Gramm. Der Verlauf der Zuwachs-Curven, an welchen sich die Wirkung dieses Fehlers geltend machen müsste, lässt übrigens nichts derartiges erkennen; auch ist die Aenderung des mechanischen Moments von einer Zuwachslinie zur anderen um so geringer, je geringer die Zuwachse selbst sind, je näher also die Linien, zwischen denen die Bogenstücke als Zuwachse gemessen werden, an einander liegen.

B. Durch die Pflanze bedingte Fehler. Diese können unter Umständen weit bedeutender werden, als die durch die Apparate gegebenen Fehler. Zunächst kommt es darauf an, nur solche Pflanzen zu benutzen, deren wachsende und tiefer liegende Internodien vollkommen grade sind und aufrecht stehen; am geeignetsten sind daher die Triebe aus Knollen, Zwiebeln, Rhizomen und perennirenden Wurzelstöcken, die gewöhnlich den Anforderungen genügen; auch hat man in diesen Fällen die Gewissheit, dass die Reservenahrung in hinreichend grosser Quantität vorhanden ist, um das Wachsthum auch im Finstern und bei schwachem Licht längere Zeit ungestört verlaufen zu lassen.

Da die Versuche im Zimmer gemacht werden, so ist der wachsende Stengel immer auf verschiedenen Seiten ungleich beleuchtet und strebt, sich heliotropisch zu krümmen. Bei einigermaassen dicken Internodien tritt diese Krümmung mit solcher Kraft auf, dass die durch das Gewicht an der Rolle bewirkte Spannung nicht hinreicht, den Stengel grade zu ziehen; ein Gewicht aber welches diess bewirken würde, könnte eine beträchtliche Dehnung des wachsenden Theils und eine Veränderung des Wachsthums hervorrufen, worüber übrigens noch genaue Untersuchungen zu machen sind. Zum Glück lässt sich aber die heliotropische Krümmung vollständig beseitigen, in dem man einen Spiegel senkrecht und parallel dem beleuchtenden Fenster hinter der Pflanze, dieser möglichst nahe aufstellt; wird die Pflanze von zwei Fenstern aus verschiedener Richtung beleuchtet, so muss jedem Fenster ein Spiegel entsprechen. Die Stengel aller von mir benutzten Pflanzen blieben auf diese Weise vollständig grade und aufrecht.

Viel gefährlicher ist die Nutation wachsender Internodien; wo die Neigung dazu einmal vorhanden ist, wird man am besten thun die Pflanze nicht weiter für unsere Beobachtungen zu benutzen; ein Mittel, sie unschädlich zu machen, ist mir unbekannt, da auch hier die Krümmungen mit solcher Kraft auftreten, dass nur sehr beträchtliche Gewichte, welche die Gefahr des Reissens der Internodien nahe legen, sie überwinden könnten. Ich will bei dieser Gelegenheit die auffallende Thatsache nicht unerwähnt lassen, dass durch den dauernden Zug eines unbedeutenden Gewichts, wie ich es zur Spannung des Fadens benutze, Nutationen hervorgerufen oder verstärkt werden können; so z. B. an den Blüthenstengeln von Oxalis cernua u. a., und an denen von Echeverien. Schon während der aufwärts gerichtete Zug des Gewichts von 10 Gramm im ersten, von

20—50 Gramm im zweiten Falle wirkt, bemerkt man Krümmungen, die viel stärker sind, als die gewöhnlichen Nutationen dieser Internodien; nimmt man das Gewicht ab, so treten in wenigen Minuten Krümmungen ein, die einen Halbkreis und mehr erreichen können.

Ueber die Veränderungen, welche durch Aenderung der Turgescenz im Wachsthum hervorgerufen werden können und die Art, sie zu vermeiden, wurde schon oben das Nöthige gesagt (unter I).

Zu beachten bleibt endlich noch die Dehnung, welche das wachsende Internodium durch den Zug des den Faden spannenden Gewichts erleidet. Dass wachsende Stengel in ziemlich hohem Grade dehnbar sind, ist leicht zu constatiren und sollte im Interesse der Mechanik des Wachsthums einmal genauer untersucht werden. So wie die Dehnbarkeit des Fadens wird man auch die des wachsenden Stengels ausser Rechnung bringen können, wenn man nach der Zusammenstellung des Apparates die Pflanze einige Stunden lang dem Zug des Gewichtes ausgesetzt lässt, oder wenn man einfach die Ablesungen der ersten Versuchsstunden als unbrauchbar nicht weiter berücksichtigt; dass diess genügt, zeigen meine Tabellen und Curven. — Dass ein im Verhältniss zur Dicke des Stengels beträchtlicher dauernder Zug das Wachsthum ein wenig beschleunigt, davon habe ich mich 1870 durch mehrere Beobachtungen überzeugt, die ich zu vervollständigen gedenke. Bei der Geringfügigkeit des am Apparat auf die Pflanze wirkenden Zuges aber ist um so weniger eine ausgiebige Beschleunigung des Wachsthums zu befürchten, als die benutzten Stengel meist dicke Internodien besassen. Ob freilich ein dauernd gleichmässiger Zug zu verschiedenen Zeiten nicht etwa verschieden einwirkt, habe ich nicht untersucht.

Nach Aufzählung dieser beträchtlichen Zahl von Fehlerquellen, welche in unsere Beobachtungen einfliessen, könnte der Leser leicht auf die Vermuthung kommen, dass die Resultate ziemlich ungenau seien. Allein der Umstand, dass man zur Ableitung der Beziehung des Lichts und der Temperatur zum Wachsthum Zahlen gewinnt, die selbst wenn die Fehler viel grösser wären, das Causalverhältniss deutlich würden hervortreten lassen, und die Uebereinstimmung der auf verschiedene Weise gewonnenen Resultate zeigt, dass die Genauigkeit der Beobachtungen für unseren Zweck vollkommen hinreicht.

Beobachtung der Temperatur und Luftfeuchtigkeit. Es wurde schon oben angedeutet, in wie weit die Angaben des Thermometers für die Pflanze selbst gelten; damit diess in möglichst hohem Grade der Fall sei, ist es nöthig, selbst in einem Zimmer mit geringen Temperaturschwankungen das Thermometer der beobachteten Pflanze möglichst nahe aufzuhängen; bei allen unten aufgezählten Beobachtungen war diess insofern der Fall, als das trockene wie das nasse Thermometer immer nur 20—30 Ctm. von der Pflanze entfernt war. Auch wurde dafür gesorgt, dass beide Thermometer immer denselben äusseren Bedingungen

ausgesetzt waren, unter denen die beobachtete Pflanze sich befand; stand diese frei in der Luft des Zimmers, so hingen auch die Thermometer frei daneben, wurde die Pflanze in einen Recipienten eingeschlossen, so wurde auch jedes der beiden Thermometer so behandelt, worüber die Anmerkungen vor den einzelnen Tabellen speciellere Auskunft geben. Die Thermometer waren in Zehntelgrade getheilt und jedes Paar vorher bezüglich ihrer Ueber-einstimmung sorgfältig verglichen. Die nach Celsius getheilten sind aus mehreren Exemplaren als die am besten übereinstimmenden ausgesucht; die kleine Differenz ihrer Angaben wurde in Rechnung gebracht; die nach Reaumur getheilten sind für psychrometrische Beobachtungen hergestellt.

Die psychrometrischen Differenzen wurden nicht desshalb beobachtet, um aus ihnen Schlüsse über die Verdunstung der Pflanze zu ziehen, da diese bei der geringen Transpirationsfläche einerseits, und bei der kräftigen Bewurzelung anderseits den Turgor der Pflanze und somit das Wachsthum gewiss nicht merklich beeinflussen konnte; vielmehr kam es bei der Beobachtung des nassen Thermometers nur darauf an, die Controle dafür zu haben, dass die Luftfeuchtigkeit in der Umgebung der Pflanze innerhalb genügend enger Grenzen variire, um diese Variation als für unseren Zweck bedeutungslos betrachten zu können.

Die Ablesungen der Thermometer begannen gewöhnlich Morgens um 7 Uhr und wurden mit gewöhnlicher Ausnahme von 1 und 2 Uhr nach Mittag bis Abends 6 oder 8 Uhr fortgesetzt. Nächtliche Beobachtungen vorzunehmen war mir, bei der Entfernung meiner Wohnung vom Laboratorium, unmöglich. Um die Gewissheit zu haben, ob die Morgens um 7 Uhr beobachtete Temperatur auch das Minimum sei, wurde dicht neben dem Thermometer noch ein Minimumthermometer aufgestellt, welches vorher verglichen war; zeigte sich, dass das Temperaturminimum um 7 Uhr schon vorüber war, so wurde es in den Tabellen als um 6 Uhr eingetreten verzeichnet. — Dass in den Beobachtungsräumen vom Abend bis Morgen die Temperatur der Luft jemals eine vorübergehende Steigerung erfahren, habe ich durchaus nicht zu vermuthen; das Fallen des Thermometers vom Abend bis zum Morgen war also ein ununterbrochenes; bei der meist geringen Differenz zwischen Abend und Morgen durfte auch ohne erheblichen Fehler angenommen werden, dass das Sinken der Zeit proportional sei; jedenfalls darf ich annehmen, dass die so berechneten 3stündigen Temperaturmittel der Nächte höchstens um 0,1°, selten 0,2° von den wahren Werthen abweichen. Da es bei den dreistündigen Zuwachsen, die in mehreren Tabellen mitgetheilt sind, darauf ankommt, ihre Beziehung zu der in demselben Zeitraum herrschenden Temperatur zu kennen, so wurden immer vier Temperaturbeobachtungen zur Berechnung des Mittels verwendet; ist der Zuwachs z. B. für die Zeit von 9 bis 12 Uhr angegeben, so ist das Temperaturmittel aus den Ablesungen von 9, 10, 11, 12 Uhr gebildet.

Wo die Mitteltemperaturen ganzer Tage aus Thermometerablesungen berechnet wurden, welche Morgens, Mittags und Abends gemacht waren, da wurde nicht einfach die Summe der abgelesenen Temperaturen durch ihre Anzahl dividirt, sondern die Mitteltemperatur jedes Zeitraums mit der Zahl der Stunden multiplicirt, diese Produkte für den ganzen Tag addirt und die Summe durch 24 dividirt; ein Verfahren, welches bei den ohnehin geringen Temperaturschwankungen allerdings Werthe liefert, welche von denen des einfacheren Verfahrens nur wenig abweichen.

Recipienten für die angekoppelte Pflanze. Um die Versuchspflanze, nachdem sie mittels des Fadens an die Rolle angekoppelt ist, mit einem Recipienten zu umgeben, der entweder nur die Aufgabe hat, jene in einem nahezu dampfgesättigten Raume verweilen zu lassen, oder sie in einen finsteren Raum einzuschliessen, oder endlich nur Licht bestimmter Färbung zu ihr gelangen zu lassen, benutze ich folgende Vorrichtungen: 1) Recipienten von Zinkblech (vergl. Fig. 1 B,E). Sie bestehen aus zwei Cylinderhälften, die hinten mit Charnier verbunden sind und beim Zuklappen vorn übergreifend einen Hohlcylinder darstellen, der unten offen, oben durch zwei übereinandergreifende Deckelstücke so geschlossen ist, dass ein Loch von ungefähr 1 Ctm. Durchmesser in der Mitte offen bleibt. Ist die Pflanze nun angekoppelt, so bringt man den geöffneten Recipienten in geeignete Lage, klappt ihn zu, so dass der Faden durch die erwähnte Oeffnung geht und bohrt ihn mit dem unteren offenen Rande in die Erde des Blumentopfs; der offene Raum um den Faden wird mit drei Staniolplättchen so belegt, dass eben nur der Faden ohne Reibung durchtreten kann. Das trockene und nasse Thermometer werden mit ihrem unteren Theil in eben solche, auf feuchter Erde stehende Recipienten eingeschlossen und möglichst nahe an der Pflanze aufgestellt. Eine solche Vorrichtung, abwechselnd von der Sonne beschienen und beschattet, kann auch bei Versuchen über die Wirkung starker und rascher Temperaturschwankungen benutzt werden (Tabelle 5). Bei einigen der ersten Versuchsreihen benutzte ich statt dieser Recipienten Rollen von Stanniol, die oben mit einer durchlöcherten und mit Spalt versehenen Stanniolklappe gedeckt wurden. Je nach der Grösse der Versuchspflanze verwende ich Zinkcylinder von 20—30 Ctm. Höhe und 8—10 Ctm. Durchmesser. — 2) Recipienten von Glas; sie bestehen aus vier rechteckigen Glasscheiben von 10 Ctm. Breite und circa 30 Ctm. Höhe, die so gefasst sind, dass sie einen vierseitigen Kasten bilden, der sich an einer Kante mit Charnier öffnen, an der gegenüberliegenden durch einen Schieber schliessen lässt. Unten bleibt der Kasten offen, oben ist jede Hälfte desselben mit einem dreieckigen Deckstück so versehen, dass beim Schliessen eine Decke entsteht, die in der Mitte ein Loch für den Durchgang des Fadens übrig lässt. Die Anwendung geschieht in derselben Weise, wie bei den Blechrecipienten. Ich besitze solche Laternen von farblosem, rothem und

blauem Glase; auch wurden mit den farbigen bereits Versuchsreihen durchgeführt, die ich jedoch bei späterer Gelegenheit noch zu vervollständigen gedenke. — Man kann diese Laternen übrigens auch durch tubulirte Glocken ersetzen, die man zuerst über die Pflanze stülpt, nachdem an derselben ein Haken für den Faden oder die eingeschalteten Drahtstücke befestigt ist, die man dann durch den Tubulus (jedoch mit einiger Unbequemlichkeit) einhakt.

Endlich habe ich noch zu erwähnen, dass das Auxanometer bei allen vom März bis Juli 1871 gemachten Beobachtungen in einem Eckzimmer stand, von dessen Fenstern eines nach Ost, die beiden anderen nach Süd gerichtet sind. Zur Verfinsterung des Zimmers dienen mit dickem Wachstuch überzogene Holzrahmen, welche, an den Seiten gepolstert, in die Fensternischen eingeschoben werden können, so dass sie die Fenster vollständig schliessen. Fällt nur diffuses Tageslicht auf die Fenster, so bewirkt dieser Verschluss im Zimmer eine tiefe Finsterniss, die selbst nach mehreren Minuten die Erkennung der Gegenstände unmöglich macht; scheint die Sonne auf die Schirme, so tritt allerdings ein wahrnehmbarer Grad von Helligkeit im Zimmer ein.

Beurtheilung und graphische Darstellung der Zahlen. Hat man die Zahlenreihen der stündlichen Zuwachse, Lufttemperaturen, psychrometrischen Differenzen und sonstige Bemerkungen einer mehrtägigen Beobachtungsreihe vor sich, so ist es durchaus nicht leicht, aus denselben ohne Weiteres irgend ein bestimmtes Resultat betreffs der Einwirkung äusserer Agentien auf das Wachsthum abzuleiten. Die stündlichen Zuwachse schwanken unregelmässig auf und ab, Beziehungen zu Temperatur und Licht treten nur ab und zu klar hervor. In höherem Grade geschieht diess allerdings schon dann, wenn man statt der stündlichen Werthe die daraus berechneten zwei- oder dreistündigen Zuwachse und Mitteltemperaturen berechnet, aber auch so gewinnt man kaum ein klares Bild des inneren Zusammenhanges des Wachsthums und seiner Bedingungen; diess ist nur durch eine geeignete graphische Darstellung der Zahlenwerthe möglich, die merkwürdigerweise bisher keiner meiner Vorgänger benutzt hat und diese Unterlassung ist eine der Ursachen, warum manche Beobachter die wahren Resultate ihrer eigenen Beobachtungen nicht erkannten, wie ich noch im letzten Abschnitt zeigen werde. Ich habe nicht nur alle meine Beobachtungsreihen, sondern auch fast sämmtliche Angaben meiner Vorgänger auf Coordinaten übertragen; meist habe ich die graphische Darstellung meiner Zahlen sogar auf zwei- oder drei- und mehrfach verschiedene Weise versucht, um ein möglichst anschauliches Bild der Vorgänge zu bekommen.

Die beigegebenen Tafeln mit den zugehörigen Erklärungen und Tabellen werden dem Leser hinreichend verständlich sein und kann ich mich hier ausführlicher Angaben über das Verfahren im Allgemeinen um so

mehr enthalten, als auf anderen Gebieten der Naturwissenschaft die graphische Darstellung von in Zahlen ausgedrückten Beobachtungen ja ohnehin längst im Gebrauch ist. Nur auf einen Punkt möchte ich besonders hinweisen, den der Ungeübte leicht übersehen könnte. Handelt es sich nämlich darum, Mittelwerthe auf den Coordinaten zu verzeichnen, so versteht es sich von selbst, dass man die ihnen entsprechenden Punkte auch auf die Mitte desjenigen Zeitraumes eintragen muss, für den der Mittelwerth gilt; hat man also z. B. die Mitteltemperatur der Nacht einzutragen, die aus zwei Beobachtungen von Abends 6 Uhr und Morgens 7 Uhr genommen ist, so muss der betreffende Punkt für die Temperaturcurve auf diejenige Ordinate gesetzt werden, welche $12^1/_2$ Uhr Nachts entspricht; eben so muss der mittlere stündliche Zuwachs für diesen Zeitraum auf denselben Punkt der Zeitabscisse fallen; nimmt man statt der mittleren Zuwachse die Zuwachssummen für bestimmte Zeiträume, so sind dieselben an den gleichen Punkten, an welchen die mittleren Zuwachse stehen müssten, einzutragen; wird z. B. die Curve der dreistündigen Zuwachse verzeichnet für die Zeiten von 12—3 Uhr, 3—6 Uhr, 6—9 Uhr u. s. w., so müssen die Punkte für die dreistündigen Zuwachse auf die Zeiten $1^1/_2$ Uhr, $4^1/_2$ Uhr, $7^1/_2$ Uhr u. s. w. fallen.

III. Tabellen.

Die hier folgenden Beobachtungsreihen sind sämmtlich im Jahre 1871 vom Anfang März bis in den Juli gewonnen. Die Ordnung, in der ich sie folgen lasse, ist nicht chronologisch, sondern vom einfacheren zum complicirteren fortschreitend, wie noch weiter aus Abschnitt IV zu ersehen ist.

1.
Phaseolus multiflorus.

Etiolirte Pflanze im finstern Zimmer beobachtet; Wachsthum (grosse Periode) der einzelnen Theile des epicotylen Internodiums. Das Internodium wurde am 19. April 4 Uhr Abends in 12 Stücke à 3,5 Mill. lang eingetheilt; die Stücke sind von unten nach oben mit *a* bis *m* bezeichnet; die erste Messung fand am 21. April 8 Uhr früh statt, aus ihr ist die erste Columne der Zuwachse für 24 Stunden berechnet; die folgenden Messungen immer täglich um 8 Uhr früh. Temperatur beständig zwischen 10,2 und 11,0° R. — Messung mit Maassstab. — Vergl. p. 102.

Bezeichnung der je 3,5 Mill. langen Stücke.	Zuwachs bis 21. April.	Zuwachs bis 22. April.	Zuwachs bis 23. April.	Zuwachs bis 24. April.	Zuwachs bis 25. April.	Zuwachs bis 26. April.	Zuwachs bis 27. April.	Zuwachs bis 28. April.	Zuwachs bis 29. April.	Zuwachs bis 30. April.
	Mill.	Mill.	Mill.	Mill.	Mill.	Mill.	Mill.	Mill.	Mill.	Mill.
oben m	1,2	1,5	2,5	5,5	7,0	9,0	14,0	10,0	7,0	2,0
l	1,5	1,5	6,0	9,0	9,5	9,5	3,5	1,0		
k	2,7	3,0	6,5	6,0	2,0					
i	3,9	2,5	3,0	1,0						
h	3,3	1,0	0,5							
g	1,8	0,5								
f	1,1	0,2								
e	0,6	0,3								
d	0,6									
c	0,3									
b	0,3									
unten a	0,3									
Summe der Partialzuwachse	17,6	10,5	18,5	21,5	18,5	18,5	17,5	11,0	7,0	2,0

2.

Fritillaria imperialis.

Grüne Pflanze im Licht und etiolirte Pflanze im Finstern. Zur Vergleichung der grossen Periode beider (vergl. Taf. I.). Ablesung der Zuwachse mittels Zeigers an Faden.

Zwei nahezu gleichgrosse Zwiebeln waren in gleiche Töpfe gleichzeitig eingepflanzt; die eine keimte in einem finsteren Zimmer, die andere an einem hellen Fenster; bei dieser begann die Beobachtung als das untere Internodium des Laub- und Blüthenstengels 7 Mill., bei jener als es 22 Mill. über der Erde hoch war; der Faden war mittels eines Silberdrahthäkchens unmittelbar unter dem ersten Laubblatt befestigt, die verzeichneten Zuwachse gelten daher ausschliesslich für das unterste Internodium. — Die beiden Apparate standen während der Beobachtungszeit neben einander auf einem Tisch; die grüne Pflanze erhielt nur diffuses Licht (nicht direkte Sonne) von zwei Ostfenstern aus 3 Meter und zwei Nordfenstern aus 2 Meter Entfernung; zwei Spiegel verhinderten die heliotropische Krümmung vollständig. Die daneben stehende etiolirte Pflanze war mit einem Hohlcylinder von Stanniol bedeckt und so verfinstert (vergl. p. 125). — Die Lufttemperatur (°C.) wurde an einem metallenen Maximum- und Minimum-Thermometer (von Hermann und Pfister), welches zwischen beiden Pflanzen stand, täglich dreimal, um 8 Uhr früh, 12 Uhr Mittag, 6 Uhr Abend abgelesen und aus diesen 6 Daten die täglichen Mitteltemperaturen (vergl. p. 125) berechnet; die täglichen Schwankungen waren gering und erreichten höchstens 2° C. in 24 Stunden. — Mit Ausnahme der trüben Tage am 20. März und 2.—5. April war das Wetter hell.

Tag.	Temp. °C. tägl. Mittel.	Tägl. Zuwachse in Millim. um 12 Uhr Mittag abgelesen. grüne Pflanze.	etiol. Pflanze.	Bemerkungen.
19. bis 20.		Millim.		
März	10,°6 C.	2,0		
21	10,5	5,2		
22	11,4	6,1		
23	12,2	6,8		
24	13,4	9,3	7,5	erster beobachteter Zuwachs der etiol. Pfl.
25	13,9	13,4	12,5	von 12 Uhr Mittag 23. bis 12 Uhr Mittag
26	14,6	12,2	12,5	24. März; am 23. März ist das grüne Internodium 27,1 Mill., das etiol. 22 Mill. hoch über der Erde.
27	15,0	8,5	11,5	am 27. März 8 Uhr früh Erde beider
28	14,3	10,6	14,2	Töpfe begossen.
29	12,4	10,3	12,6	am 29. März 8 Uhr früh die etiol. Pflanze begossen.
30	12,0	6,3	15,9	am 30. März 8 Uhr früh die grüne Pflanze
31	11,2	4,7	16,6	begossen.
1. April.	10,7	5,8	18,2	am 1. April 8 Uhr früh die grüne Pflanze
2	10,2	4,4	15,5	begossen.
3	9,4	3,8	14,0	
4	10,6	2,0	13,8	
5	10,7	1,2	11,9	
6	11,0	0,7	8,8	
7	11,0	0,0	4,4	
8	11,2		2,1	
9	11,5		0,6	
10	12,5		0,0	

In dem Zeitraum vom 23. März 12 Uhr Mittag bis zum 7. April 12 Uhr Mittag, wo beide Pflanzen gleichzeitig beobachtet wurden und wuchsen, betrug der Gesammtzuwachs der grünen 93,2 Mill., der der etiolirten 189,9; dieser war also mehr als doppelt so gross wie jener; ausserdem dauerte der Zuwachs des etiolirten Internodiums noch 3 Tage länger, als das des grünen; das Maximum der täglichen Zuwachse fällt bei dem grünen Internodium auf den 25. März, bei dem etiolirten auf den 1. April, also 6 Tage später. Da nach Beendigung der Beobachtungen sich fand, dass das Internodium unterirdisch und innerhalb der Zwiebel bei beiden Pflanzen 30 Mill. lang war, so ergiebt sich die erreichte Gesammtlänge für das Grüne 120,7 Mill., für das etiolirte 214,6 Mill.

3.

Hopfen.

Grüne Pflanzen im Finstern (Vergl. Taf. II.). Grosse Periode und Temperaturwirkung.

Zu den beiden folgenden Beobachtungsreihen wurden Pflanzen verwendet, welche, in grosse Töpfe gepflanzt, schon zweimal in diesen überwintert hatten. An beiden Exemplaren wurden sämmtliche Sprosse, bis

auf je einen, zur Beobachtung besonders geeigneten, dicht an der Erde weggeschnitten. — Während der Beobachtungszeit waren die Sprosse mit tubulirten Glasglocken bedeckt, diese zum Zweck der Verdunkelung mit Bleifolie dicht umwickelt; in zwei anderen dicht daneben, auf feuchter Erde stehenden tubulirten Glasglocken befanden sich die Thermometer (°C.), in der einen das trockene, in der anderen das feuchte, welches Nachts 0,25 bis 0,3°, Tags 0,3° bis 0,4° weniger zeigte, als jenes. — Zuwachsablesungen an Millimetertheilung, an welcher sich der Zeiger mittels Faden und Rolle bewegte.

No. I.

Die vier oberirdischen Internodien unter der Knospe des Sprosses haben am Anfang des Versuchs die Längen (von unten nach oben gezählt): 90—31,—28—17 Mill.; der Zuwachs findet an den 3 oberen Internodien, überwiegend am jüngsten statt.

Tag.	Tageszeit.	Temp. C. Mittel.	Zuwachse in Millim. Mittel pro Stunde.	Zuwachse in Millim. für ganze Tage 6h Abd. — 6h Abd.	Temp. C. Mittel für ganze Tage p. 125.
18. April	6 Ab.—8 Fr. 8 Fr.—12 M. 12 M.—6 Ab.	14,°6 15,0 15,3	0,18 Mill. 0,40 „ 0,73 „	8,5 Mill.	14,°4
19. April	6 Ab.—8 Fr. 8 Fr.—12 M. 12 M.—6 Ab.	14,7 14,7 16,1	0,90 Mill. 1,17 „ 1,58 „	26,7 Mill	15,0
20. April	6 Ab. 8 Fr. 8 Fr.—12 M. 12 M.—6 Ab.	15,4 15,2 15,7	1,31 Mill. 1,65 „ 1,73 „	35,0 Mill.	15,4
21. April	6 Ab.—8 Fr. 8 Fr.—12 M. 12 M.—6 Ab.	14,8 14,8 15,4	1,03 Mill. 1,12 „ 1,00 „	25,0 Mill.	14,°9
22. April	6 Ab.—8 Fr. 8 Fr.—12 M. 12 M.—6 Ab.	14,1 14,3 15,6	0,39 Mill. 0,27 „ 0,07 „	7,0 Mill.	14,5

No. II.

Das vorletzte Internodium unter der Knospe, das 3. von unten, ist in den letzten 5 Tagen am Licht nur um 12 Mill. gewachsen und bei Beginn des Versuchs 32 Mill. lang; das letzte Internodium unter der Knospe ist 20 Mill. lang und ergiebt die in der Tabelle verzeichneten Zuwachse.

Tag.	Tageszeit.	Temp. C. Mittel.	Zuwachse in Millim. Mittel pro Stunde.	Zuwachse in Millim. für ganze Tage 6h Abd. — 6h Abd.	Temp. C. Mittel für ganze Tage
22. April	8 Fr.—12 M.	14,03	0,45 Mill.	19,0 Mill.	14,09
	12 M.—6 Ab.	15,6	0,75 ,,		
	6 Ab.—8 Fr.	14,8	0,91 ,,		
23. April	8 Fr.—12 M.	14,7	1,30 Mill.	25,0 Mill.	14,5
	12 M.—6 Ab.	14,9	1,03 ,,		
	6 Ab.—8 Fr.	14,2	0,97 ,,		
24. April	8 Fr.—12 M.	14,5	1,25 Mill.	26,0 Mill.	14,3
	12 M.—6 Ab.	15,1	1,75 ,,		
	6 Ab.—8 Fr.	14,0	0,75 ,,		
25. April	8 Fr.—12 M.	13,9	1,00 Mill.	17,2 Mill.	13,9
	12 M.—6 Ab.	14,8	1,25 ,,		
	6 Ab.—8 Fr.	13,3	0,41 ,,		
26. April	8 Fr.—12 M.	14,1	0,40 Mill.	4,8 Mill.	14,1
	12 M.—6 Ab.	15,0	0,45 ,,		
	6 Ab.—8 Fr.	13,7	0,04 ,,		

4.

Fritillaria imperialis.

Etiolirte Pflanze im Finstern; Wirkung starker Temperatur-Schwankungen auf das Wachsthum; (vergl. Taf. III.). Beobachtung der Zuwachse mittels des Zeigers am Bogen.

Zur Beobachtung diente ein im Finstern erwachsener Laubspross, dessen erstes Internodium am Anfang bereits 15 Ctm. hoch war; der Faden wurde unmittelbar unter dem ersten Blatt der noch nicht entfalteten Laubknospe mittels eines Hakens von Silberdraht befestigt; die folgenden Angaben beziehen sich also ausschliesslich auf das erste Internodium. — Die Verdunkelung wurde durch einen Hohlcylinder von Stanniol bewirkt; neben der Pflanze befanden sich die beiden Thermometer (°R), das eine mit trockener, das andere mit nasser Kugel; jedes mit seinem unteren Theil in einem Hohlcylinder von Stanniol von der Grösse dessen, der die Pflanze bedeckte, umgeben; jeder dieser Cylinder steht auf der feuchten Erde eines Blumentopfes (vergl. p. 124). — Die Temperaturschwankungen wurden durch Heizung eines grossen eisernen Ofens im grössten Saale des Laboratoriums und gelegentlich durch Oeffnen von Thür und Fenster bewirkt. Der Apparat stand 5 Meter von dem Ofen entfernt und war durch einen grossen hölzernen Schirm vor der Strahlung desselben geschützt; die Temperaturänderungen am Apparat wurden demnach durch die Luftwärme des Saales vermittelt. Die Temperatur der Erde wurde durch ein in die Erde neben der Pflanze gestecktes Thermometer angegeben.

Tag.	Stunde der Ablesung.	Zuwachse pro Stunde. Bogengrade.	Temp. °R. Erde.	Luft in der Hülle.	psychrom. Diff. nasser Th. in Hülle.	Bemerkungen.
16. März	8^h 30^m fr.		11,2°	14,8°	0,4°	um 8^h früh geheizt
	10 ,,	1,06	12,3	14,2	0,7°	
	11 ,,	2,10	14,0	16,6	0,9	
	12 Mittag	1,05	15,3	17,9	1,1	
	1 ,,	1,45	16,9	17,9	0,7	
	3 ,,	2,05	16,3	17,0	0,5	um 3^h Nachmittag
	4 ,,	2,20	14,8	14,7	0,1	Fenster und Thür
	5 ,,	1,90	13,6	13,3	0,1	geöffnet.
	6 Abend	1,60	12,7	12,4	0,3	
17. März	8^h fr.	1,00	7,8	8,4	0,2	über Nacht ein
	9 ,,	0,70	8,3	9,4	0,7	Fenster offen; um
	10 ,,	0,25	10,0	13,8		8^hfr. geschlossen,
	11 ,,	1,35	12,2	14,5	0,5	um 9^h früh ge-
	12 Mittag	1,20	12,8	14,9	0,7	heizt.
	1 ,,	1,70	14,0	15,2	0,7	
	3 ,,	2,10	14,0	14,7	0,8	
	4 ,,	2,00	13,6	14,3	0,2	
	5 ,,	1,90	13,6	14,6	0,6	
	6 Abend	1,80	13,4	13,8	0,1	
18. März	8^h fr.	1,14	9,6	9,7	0,2	Ofen geheizt.
	9 ,,	0,50	11,2	14,3		
	10 ,,	2,00	13,2	15,6	0,9	
	11 ,,	2,50	13,6	15,1	0,5	
	12 Mittag	0,30	14,0	15,0	0,5	
	1 ,,	1,50	15,0	16,2	0,6	
	2 ,,	2,10	14,3	15,5	0,4	
	3 ,,	1,85	14,3	15,1	0,4	
	4 ,,	1,60	14,0	13,8	0,0	
	5 ,,	1,55	13,2	13,1	0,2	
	6 Abend	1,40	12,7	12,7	0,2	
19. März	8^h fr.	0,83	9,0	9,4	0,2	Ofen geheizt.
	9 ,,	0,45	9,3	10,3	0,6	
	10 ,,	0,10	11,2	13,9	1,4	
	11 ,,	1,30	12,6	14,9	1,1	
	12 Mittag	0,40	13,7	15,9	1,2	
	1 ,,	0,80	15,0	15,9	0,9	
	3 ,,	0,80	14,0	14,6	0,4	
	4 ,,	0,90	13,6	14,1	0,3	
	5 Abend	0,60	13,3	13,7	0,4	
20. März	8^h fr.	0,36	9,2	9,6	0,3	

5.

Dahlia variabilis.

Etiolirte Pflanze im Finstern (Zink-Recipient). Wirkung starker Temperaturschwankungen auf das Wachsthum (Taf. IV). Beobachtungen am Auxanometer, bei 12maliger Vergrösserung.

Der im Finstern austreibende Spross besass zwei oberirdische Internodien unter der Endknospe; am 1. Mai wurde der Faden unterhalb des ersten Blattpaares angekoppelt, um zu sehen, ob das untere Internodium

noch wächst; bis zum 2. Mai in 24 Stunden betrug die wirkliche Verlängerung bei 11—13° R. nur 0,58 Millimeter; dann wurde das obere Ende des zweiten Internodiums unmittelbar unter dem 2. Blattpaar angekoppelt; die mit dem 4. Mai beginnenden hier folgenden Zuwachsangaben betreffen daher sicherlich nur das zweite Internodium. — Die Pflanze war während der Beobachtungszeit mit dem Zink-Recipienten umgeben (vergl. p. 125), und so gestellt, dass die Sonnenstrahlen denselben vor Mittag treffen und erwärmen konnten; durch einen vorgestellten Papierschirm konnte die Intensität der Strahlung vermindert werden. — Das Thermometer (*R*) befand sich mit seinem unteren Theil in einem gleichen, auf feuchter Erde stehenden Recipienten, der jedesmal derselben Strahlung dicht neben der Pflanze ausgesetzt wurde.

Tag.	Stunde.	Zuwachs in Mill. am Bogen.	Temp. R. im Recipienten.	Grösste Temperaturschwankung in einer Stunde.	Bestrahlung.
4. Mai	6h fr.				
	7 ,,	2,8	11,07		
	8 ,,	2,5		1,10 aufwärts.	meist trüb, wolkig; Wirkung der Strahlung aber merklich.
	9 ,,	3,0	13,9		
	10 ,,	2,5	12,7	1,2 abwärts.	
	10h 30m fr.		12,3	0,04 abwärts, und 2,00 aufwärts.	
	10h 50m ,,		14,3		
	11 fr.	3,6		2,02 abwärts.	
	12 Mittag	3,0	12,5		v. 12 bis 12h 3m Sonne. um 12h 30 beschattet.
	12h 30m M.		16,3	von 12—1h 3,8 aufwärts und 0,7 abwärts.	
	1 Mittag	7,2	15,6		
	2 ,,	4,5		2,07 abwärts.	
	3 ,,	4,0	12,9		
	4 ,,	4,3	13,0	0,04 aufwärts.	
	5 ,,	4,6	12,7	0,03 abwärts.	
	6 Abend	4,4	12,0	0,07 abwärts.	
	7 ,,	4,2			
	8 ,,	4,0			
	9 ,,	3,8			
	10 ,,	3,5			
	11 ,,	3,0			
	12 Nacht	2,5			
5. Mai	1 ,,	2,3			
	2 ,,	2,1			
	3 ,,	2,0			
	4 ,,	1,7			
	5 ,,	1,8			
	6h fr.	1,6			
	7 ,,	0,8	11,04		
	8 ,,	1,5		0,06 aufwärts.	der Himmel meist wolkig, zwischen 10 und 11h Sonne.
	9 ,,	2,0	12,3		
	10 ,,	1,8	12,5	0,2 aufwärts.	
	11 ,,	2,2	16,0	3,05 aufwärts.	
	12 Mittag	5,0	13,8	2,2 abwärts.	
	,,	5,0		im Mittel 0,07 abwärts.	
	,,	5,6			
	3 ,,	6,5	13,6		

Tag.	Stunde.	Zuwachs in Mill. am Bogen.	Temp. R. im Recipienten.	Grösste Temperaturschwankung in einer Stunde.	Bestrahlung.
5. Mai	4h Mittag	8,4	12,4	1,2 abwärts.	
	5 ,,	Neu eingestellt.	12,0		
	6 Abend		11,6		
	7 ,,	5,3			
	8 ,,	5,0			
	9 ,,	4,1			
	10 ,,	4,0			
	11 ,,	4,0			
	12 Nacht	3,6			
6. Mai	1 ,,	3,4			
	2 ,,	3,5			
	3 ,,	3,8			
	4 ,,	4,0			
	5 ,,	4,0			
	6h fr.	4,0			
	7 ,,	4,0	11,0		
	8 ,,	3,5	11,7	0,07 aufwärts.	
	9 ,,	5,2	12,7	1,0 aufwärts.	
	10 ,,	5,5	13,4	0,7 aufwärts.	Himmel immer trüb.
	11 ,,	5,8	13,0	0,4 abwärts.	
	12 Mittag	6,0	13,1	0,1 aufwärts.	
	1 ,,	7,0		0,25 abwärts.	
	2 ,,	6,5	12,6		
	3 ,,	5,5			
	4 ,,	5,8			
	5 ,,	6,3		0,5 abwärts.	
	6 Abend	6,0			
	7 ,,	5,8	11,0		
	8 ,,	6,0			
	9 ,,	5,0			
	10 ,,	4,7			
	11 ,,	4,3			
	12 Nacht	4,1			
7. Mai	1 ,,	4,0			
	2 ,,	3,6			
	3 ,,	3,3			
	4 ,,	2,6			
	5 ,,	2,6			
	6h fr.	2,5	10,5		
	7 ,,	2,5		1,00 aufwärts.	
	8 ,,	3,0	12,5		
	9 ,,	4,3	13,2	0,7 aufwärts.	Sonnenschein, mit Papierschirm abgeschattet.
	10 ,,	3,6	14,0	1,7 aufwärts.	
	11 ,,	5,0	14,2	0,2 aufwärts.	
	12 Mittag	5,2	15,3	1,1 aufwärts.	
	1 ,,	4,5			
	2 ,,	3,6		0,8 abwärts.	
	3 ,,	2,8	12,7		

6.

Fritillaria imperialis.

Etiolirte Pflanze frei im finstern Zimmer. Wirkung geringer Temperaturschwankung. Grosse und tägliche Periode. Beobachtet mittels des Auxanometers, bei 12maliger Vergrösserung der Zuwachse.

Als das untere Internodium des im Finstern ausgetriebenen Laub-

sprosses 25 Mill. über der Erde lang war (sämmtliche Laubblätter noch als Knospe zusammenschliessend), wurde der Faden mittels eines Hakens von Silberdraht unmittelbar unter Knospe befestigt und die Beobachtung begonnen. — Die Pflanze blieb unbedeckt, ebenso das trockene und feuchte Thermometer (*R*); ein drittes Thermometer steckte in der Erde des Blumentopfs neben der Zwiebel. — Den genau einstündigen Zuwachs-Angaben des Auxanometers entsprechen stündliche Temperaturbeobachtungen von Morgens 8 bis 12 Uhr und Nachmittags 3 bis 6 Uhr; aus jenen sind die dreistündigen Zuwachse, aus diesen die zugehörigen Mitteltemperaturen und psychrometrischen Differenzen berechnet (vergl. wegen der Nachttemperaturen p. 124).

A. Nach dreistündigen Werthen.

Tag.	Stunde von—bis	Zuwachs in je 3 Stunden. Millim. am Bogen.	Mittel-Temp. °R.			Bemerkungen.
			Erde.	Luft.	psychr. Differ.	
27. März	3—6 Abend	10,7	13,1	13,8	2,1	
	6—9 ,,	10,7		13,6		
	9—12 Nacht	11,6		13,4		
28. März	12—3 ,,	15,4		13,2		
	3—6 früh	18,0		13,0		
	6—9 ,,	20,3	11,4	12,9	2,4	um 8^h früh Erde begossen.
	9—12 Mittag	21,6	11,5	12,8	2,8	8—1^h Mittag Sonne (d. h. die Sonnenstrahlen treffen die Aussenseite der die Südfenster deckenden schwarzen Schirme).
	12—3 ,,	26,5	11,5	12,8	2,8	
	3—6 Abend	28,0	11,4	12,4	2,9	
	6—9 ,,	24,8		11,9		
	9—12 Nacht	28,0		11,7		
29. März	12—3 ,,	30,0		11,3		
	3—6 früh	29,9		11,0		
	6—9 ,,	28,3	9,5	11,0	2,2	
	9—12 Mittag	31,7	10,1	11,7	2,4	um 12^h Mittag neu eingestellt.
	12—3 ,,	41,8	11,0	11,7	2,5	
	3—6 Abend	39,0	10,5	11,5	2,8	
	6—9 ,,	36,7		10,9		
	9—12 Nacht	37,8		10,6		
30. März	12—3 ,,	39,3		10,4		
	3—6 früh	39,4		10,2		
	6—9 ,,	41,6	8,6	10,1	2,3	8^h früh Erde begossen.
	9—12 Mittag	39,2	9,5	10,7	2,2	
	12—3 ,,	41,4	9,9	10,8	2,2	
	3—6 Abend	38,0	9,5	10,4	2,3	5^h Abend neu eingestellt.
	6—9 ,,	23,5		10,0		
	9—12 Nacht	26,0		9,8		
31. März	12—3 ,,	28,5		9,7		
	3—6 früh	31,2		9,5		
	6—9 ,,	34,7	7,9	9,4	2,0	
	9—12 Mittag	35,8	8,3	9,5	2,0	10^h Morgens Erde begossen.
	12—3 ,,	33,6	8,4	9,5	2,1	
	3—6 Abend	28,3	8,4	9,4	2,2	um 4^h Abend neu eingestellt.
	6—9 ,,	21,5		9,0		
	9—12 Nacht	22,8		8,8		

Tag.	Stunde von—bis	Zuwachs in je 3 Stunden. Millim. am Bogen.	Mittel-Temp. °R. Erde.	Luft.	psychr. Differ.	Bemerkungen.
1. April	12—3 Nacht	24,6		8,7		
	3—6 früh	25,2		8,5		
	6—9 ,,	27,3	7,2	8,3	2,1	9h Morgens begossen.
	9—12 Mittag	24,5	7,3	8,4	2,0	
	12—3 ,,	24,8	8,0	8,7	2,0	
	3—6 Abend	25,8	7,8	8,5	1,9	
	6—9 ,,	19,5		8,3		
	9—12 Nacht	24,9		8,2		
2. April	12 3 ,,	24,5		8,0		
	3—6 früh	25,2		7,9		
	6—9 ,,	26,5	6,6	7,8	1,9	seit 9h im unt. Zimmer geheizt.[1]
	9—12 Mittag	24,1	7,2	8,5	1,9	12h Mittag neu eingestellt.
	12—3 ,,	17,1	7,5	9,2	2,0	
	3—6 Abend	19,0	7,6	8,9	1,8	
	6—9 ,,	21,9		8,5		
	9—12 Nacht	23,0		8,4		
3. April	12—3 ,,	21,5		8,3		
	3—6 früh	22,3		8,2		
	6—9 ,,	22,2	7,1	8,2	1,8	
	9—12 Mittag	15,0	7,6	8,8	1,6	9—1h Sonne; seit 9h im unteren Zimmer geheizt.
	12—3 ,,	21,4	8,0	9,3	1,7	
	3—6 Abend	25,9	8,2	9,2	1,7	
	6 9 ,,	23,5		9,1		
	9—12 Nacht	23,1		9,0		
4. April	12—3 ,,	28,0		8,9		
	3—6 früh	26,5		8,8		
	6—9 ,,	27,5	7,8	8,8	1,7	seit 9h im unt. Zimmer geheizt.
	9—12 Mittag	24,3	8,5	9,7	1,8	9—1 Sonne.
	12—3 ,,	22,3	9,2	10,4	2,0	12h Mittag neu eingestellt.
	3—6 Abend	28,4	9,3	10,5	1,8	
	6—9 ,,	22,1		10,3		
	9—12 Nacht	17,5		10,2		
5. April	12—3 ,,	20,6		10,1		
	3—6 früh	20,4		10,0		
	6—9 ,,	22,8	8,7	10,3	1,9	
	9—12 Mittag	19,8	9,2	10,0	2,0	
	12—3 ,,	18,9	9,1	9,9	1,9	
	3—6 Abend	17,9	9,0	9,8	1,9	
	6—9 ,,	10,5		9,6		
	9—12 Nacht	9,9		9,5		
6. April	12—3 ,,	8,8		9,3		
	3—6 früh	8,8		9,2		
	6—9 ,,	8,4	8,0	9,0	1,7	
	9—12 Mittag	7,5	8,1	9,0	1,7	
	12—3 ,,	6,9	8,1	9,0	1,7	
	3—6 Abend	6,6	8,2	8,9	1,7	
	6—9 ,,	7,3		8,9		
	9—12 Nacht	6,4		8,8		
7. April	12—3 ,,	6,9		8,8		
	3—6 früh	6,3		8,7		
	6—9 ,,	6,2	7,6	8,8	1,6	
	9—12 Mittag	5,1	8,7	9,5	1,6	
	12—3 ,,	6,5	9,1	9,9	1,7	

1) Das Zimmer im 2. Stockwerk, wo das Auxanometer aufgestellt ist, steht durch eine 1 □Fuss grosse Oeffnung mit dem darunter liegenden Zimmer des ersten Stockes

Das Internodium hatte am Anfang des Versuchs über der Erde (von der Grenze des oberen Zwiebelrandes bis zur Basis des untersten Laubblattes, wo der Faden eingehakt war) die Höhe von 25 Mill.; nach Beendigung der Beobachtungen (am 8. April 8 Uhr früh) betrug diese 193,1 Mill.; der Zuwachs während der Beobachtungsdauer, inclusive der Zeit vom 7. April 3 Uhr Nachmittag bis 8. April 8 Uhr früh betrug also 168 Mill. Der oberirdische Theil des Internodiums war vor Beginn des Versuchs durch schwarze Striche in fünf gleichhohe Stücke à 5 Mill. eingetheilt worden, welche von unten nach oben gezählt, mit den Buchstaben a, b, c, d, e bezeichnet sein mögen. Nach Beendigung der Beobachtungen waren die Längen dieser Stücke

$a = 19{,}5$ Mill.; $b = 26{,}5$; $c = 33{,}6$; $d = 45{,}5$; $e = 29{,}5$ Mill.

Nach Abzug der ursprünglichen Länge jedes Stückes von 5 Mill., erhält man die Zuwachse

für $a = 14{,}5$; $b = 21{,}5$; $c = 28{,}6$; $d = 40{,}5$; $e = 24{,}5$ Mill.

Ausserdem war aber während des Versuchs unterhalb a ein neues Stück von der Länge 38,5 Mill. herausgeschoben, durch Verlängerung des in der Zwiebel steckenden Stückes von 32 Mill. Länge.

Demnach ist das Wachsthum dieses Internodiums ungleichmässig an verschiedenen Querschnitten und zwar in basifugaler Richtung zunehmend; indem sich das in der Zwiebel steckende Stück von 32 Mill. Länge nur um 38,5 Mill., das über der Zwiebel befindliche von 25 Mill. ursprünglicher Höhe aber um 168 Mill. verlängerte; an diesem Theil nahm das Wachsthum von a bis d zu, nur das oberste Stück e wuchs langsamer, war aber bei Beendigung des Versuchs noch nicht ausgewachsen.

B. Theil der vorigen Tabelle A.

Tag.	Stunde von—bis	$\frac{z}{t}$	$\frac{z}{t-4}$	$\frac{z}{t-6}$
1. April	12—3 Nacht	28	52	89
	3—6 früh	29	56	101
	6—9 ,,	33	63	119
	9—12 Mittag	29	56	102
	12—3 ,,	29	53	92
	3—6 Abend	30	57	103
	6—9 ,,	23	45	85
	9—12 Nacht	30	59	113
2. April	12—3 ,,	31	61	122
	3—6 früh	32	65	133
	6—9 ,,	34	67	147

(Fortsetzung der Tabelle auf pag. 138.)

---

in Verbindung; dieses wurde, um die Temp. bei der immer zunehmenden Abkühlung des Wetters, nicht allzustark sinken zu lassen, geheizt; es wurde so eine sehr langsame Erwärmung des Beobachtungsraumes künstlich erzielt.

Tag.	Stunde von—bis	$\frac{z}{t}$	$\frac{z}{t-4}$	$\frac{z}{t-6}$
2. April	9—12 Mittag	28	54	96
	12—3 ,,	18	33	53
	3—6 Abend	21	39	65
	6—9 ,,	25	49	88
	9—12 Mittag	28	52	96
3. April	12—3 ,,	26	50	93
	3—6 früh	27	53	101
	6—9 ,,	27	53	101
	9—12 Mittag	17	31	53
	12—3 ,,	23	40	65
	3—6 Abend	27	49	81
	6—9 ,,	26	46	76
	9—12 Nacht	26	46	77
4. April	12—3 ,,	31	57	96
	3—6 früh	30	55	87
	6—9 ,,	31	57	98
	9—12 Mittag	25	43	66
	12—3 ,,	21	35	51
	3—6 Abend	27	44	63
	6—9 ,,	21	35	51
	9—12 Nacht	17	28	42

C. Grosse Periode aus der Tabelle A berechnet.

Tag.	mittlere Tages-temp. R.	z.	$\frac{z}{t}$	$\frac{z}{t-4}$	$\frac{z}{t-6}$
28. März	12,96	182,6	14,5	21,2	27,7
29. ,,	11,2	275,2	24,6	38,2	53,0
30. ,,	10,3	288,4	28,0	45,8	67,7
31. ,,	9,3	236,4	25,4	44,6	71,6
1. April	8,45	196,6	23,3	44,2	80,2
2. ,,	8,4	181,3	21,6	41,2	75,5
3. ,,	8,8	174,9	19,6	36,4	62,4
4. ,,	9,7	196,6	20,2	34,5	53,1
5. ,,	9,9	140,8	14,2	23,8	36,1
6. ,,	9,0	60,7	6,7	12,1	20,2

7.

Dahlia variabilis.

Etiolirter Spross im Finstern, d. h. im finstern Zimmer und von einem Zink-Recipienten umgeben. Verhalten des Wachsthums bei sehr geringer Temperaturschwankung. Beobachtung am Auxanometer; 12fache Vergr. der Zuwachse.

Diese Tabelle enthält die stündlichen Beobachtungen vom 7.—13. Juni, aus denen die betreffenden 3stündigen Angaben der Tabelle 8

welche vom 2.—16. Juni sich erstreckt, berechnet sind. Die Pflanze, welche schon vom 2.—5. Juni im Finstern, d. h. vom Zinkrecipienten umgeben, aber in einem durch ein Fenster erhellten Zimmer, beobachtet worden war, wurde während der Zeit vom 7.—13. Juni bei noch vollständigerem Schutz gegen Strahlung und Temperaturschwankungen beobachtet, indem sie nicht nur von dem Zinkrecipienten umgeben blieb, sondern auch das Zimmer durch Verschluss der drei Fenster mit schwarzen Schirmen verdunkelt wurde. Der Spross war unter dem 3. Blattpaar an den Faden gekoppelt; das unterste Internodium Anfangs 52 Mill., das 2. Internodium 55 Mill., das 3. Internodium 15 Mill. lang; die Zuwachse gelten demnach für dieses dritte Internodium. — Das trockene und nasse Thermometer (^{0}R.) in je einem Zinkrecipienten, gleich dem die Pflanze bedeckenden, steckend, neben der Pflanze aufgestellt. Das nasse Thermometer zeigte um 0,1—0,2^0 R. weniger als das trockene.

Tag.	Stunde.	Zuwachs in Mill. am Bogen.	Temp. ^{0}R. im Zink-recipienten.	Tag.	Stunde.	Zuwachs in Mill. am Bogen.	Temp. ^{0}R. im Zink-recipienten.
7. Juni	6 Abend		11,4^0	9. Juni	4 Nacht	5,5	
	7 ,,	2,6			5 ,,	5,2	
	8 ,,	3,2			6 früh	5,5	
	9 ,,	5,0			7 ,,	5,5	10,7^0
	10 ,,	4,6			8 ,,	5,6	10,8
	11 ,,	4,0			9 ,,	5,6	10,8
	12 Nacht	3,6			10 ,,	5,3	10,9
8. Juni	1 ,,	3,2			11 ,,	5,6	11,0
	2 ,,	3,5			12 Mittag	5,6	11,1
	3 ,,	3,5			1 ,,	5,6	
	4 ,,	3,6			2 ,,	5,6	
	5 ,,	3,6			3 ,,	5,4	11,2
	6 früh	3,0			4 ,,	5,6	11,3
	7 ,,	3,1	10,6		5 ,,	5,6	11,4
	8 ,,	3,3	10,6		6 Abend	5,6	11,3
	9 ,,	2,6	10,8		7 ,,	5,4	
	10 ,,	3,0	10,9		8 ,,	5,2	
	11 ,,	5,6	11,0		9 ,,	5,3	
	12 Mittag	5,6	11,0		10 ,,	5,0	
	1 ,,	6,0			11 ,,	5,0	
	2 ,,	5,8	11,2		12 Nacht	5,5	
	3 ,,	5,5	11,2	10. Juni	1 ,,	5,5	
	4 ,,	5,4	11,2		2 ,,	5,4	
	5 ,,	5,0	11,2		3 ,,	5,0	
	6 Abend	5,2	11,2		4 ,,	5,5	
	7 ,,	5,4			5 ,,	5,4	
	8 ,,	4,5			6 früh	5,7	
	9 ,,	4,8			7 ,,	5,7	10,8
	10 ,,	4,8			8 ,,	5,0	11,0
	11 ,,	5,0			9 ,,	6,0	11,2
	12 Nacht	5,0			10 ,,	5,8	11,4
9. Juni	1 ,,	5,0			11 ,,	6,0	
	2 ,,	4,6			12 Mittag	6,1	11,5
	3 ,,	5,0			1 ,,	6,0	

Tag.	Stunde.	Zuwachs in Mill. am Bogen.	Temp. 0R. im Zink-recipienten.	Tag.	Stunde.	Zuwachs in Mill. am Bogen.	Temp. 0R. im Zink-recipienten.
10. Juni	2 Mittag	5,5		11. Juni	12 Nacht	5,0	
	3 ,,	6,5	11,6	12. Juni	1 ,,	5,2	
	4 ,,	neu ein-gestellt	12,0		2 ,,	4,6	
					3 ,,	4,7	
	5 ,,	4,4	11,7		4 ,,	4,7	
	6 Abend	4,5	11,7		5 ,,	4,5	
	7 ,,	4,6			6 früh	4,8	
	8 ,,	4,8			7 ,,	5,0	
	9 ,,	5,2			8 ,,	5,0	11,9
	10 ,,	6,0			9 ,,	5,3	12,1
	11 ,,	7,0			10 ,,	5,3	
11. Juni	12 Nacht	6,0			11 ,,	5,4	12,2
	1 ,,	5,8			12 Mittag	5,0	12,2
	2 ,,	6,0			1 ,,	5,0	
	3 ,,	6,0			2 ,,	4,6	12,3
	4 ,,	6,0			3 ,,	4,8	12,3
	5 ,,	6,2			4 ,,	5,3	12,3
	6 früh	6,0			5 ,,	4,6	12,3
	7 ,,	6,3			6 Abend	4,4	12,3
	8 ,,	6,5	11,6		7 ,,	4,3	
	9 ,,	7,0	11,8		8 ,,	5,3	
	10 ,,	7,2	12,0		9 ,,	5,0	
	11 ,,	7,0	12,2		10 ,,	4,8	
	12 Mittag	6,5	12,6		11 ,,	4,4	
	1 ,,	6,4			12 Nacht	4,3	
	2 ,,	5,8		13. Juni	1 ,,	5,3	
	3 ,,	5,2	12,3		2 ,,	5,4	
	4 ,,	4,6			3 ,,	5,0	
	5 ,,	4,7			4 ,,	5,0	
	6 Abend	4,6			5 ,,	4,6	
	7 ,,	4,6			6 früh	5,0	
	8 ,,	4,5			7 ,,	5,4	12,0
	9 ,,	4,3			8 ,,	5,6	12,1
	10 ,,	4,2			9 ,,	5,0	12,1
	11 ,,	4,6					

8.

Dahlia variabilis.

Etiolirte Pflanze im Finstern. Einwirkung sehr geringer Strahlung und kleiner Temperaturschwankungen auf das Wachsthum. Beobachtungen am Auxanometer; 12malige Vergr. der Zuwachse.

Die hier folgende Tabelle umfasst drei Beobachtungsreihen an einem und demselben etiolirten Spross, um den Einfluss mehr oder minder vollkommenen Schutzes gegen Licht- und Wärmestrahlung so wie gegen Temperaturschwankungen kennen zu lernen. — Während der ersten und dritten Beobachtungsreihe war die Pflanze nur von einem Zinkrecipienten umgeben, das Zimmer aber durch ein Südfenster erleuchtet, doch so, dass direktes Sonnenlicht den Apparat nicht treffen konnte; während der zweiten Beobachtungsreihe wurden alle drei Fenster mit schwarzen Schirmen be-

deckt. — Die beiden Thermometer (R) steckten mit ihren unteren Theilen in Zinkrecipienten, von gleicher Form und Grösse, wie der die Pflanze bedeckende; das nasse zeigte beständig 0,1—0,3° R. weniger als das trockene. — Die Blätter der Pflanze waren bis zur Knospe abgeschnitten, an den Schnittflächen wurde während der ganzen Beobachtungszeit beständig Wasser ausgeschieden. — Bei der ersten Beobachtungsreihe war der Faden unter dem zweiten, bei der zweiten unter dem dritten, bei der dritten unter dem vierten Blattpaar befestigt; das zugehörige (resp. 2., 3., 4.) Internodium war am Anfang jeder Reihe jedesmal 15 Mill. lang; doch wuchsen auch die unteren Internodien noch mit. — Die dreistündigen Angaben der Tabelle sind aus den einstündigen Beobachtungen berechnet (wegen der Nachttemperaturen vergl. p. 124).

Reihe A.

Diffuses Tageslicht durch ein Südfenster; Pflanze unter Zinkrecipienten.

Tag.	Stunde von—bis	Zuwachs in 3 St. Mill. am Bogen.	3stündige Temperaturmittel °R.	Tag.	Stunde von—bis	Zuwachs in 3 St. Mill. am Bogen.	3stündige Temperaturmittel °R.
2. Juni	12—3 Mittag	12,1	15,3	4. Juni	12—3 ,,	15,9	13,3
	3—6 Abend	10,0	14,9		3—6 früh	17,4	13,2
	6—9 ,,	15,6	14,4		6—9 ,,	13,0	13,0
	9—12 Nacht	19,8	14,2		9—12 Mittag	13,4	13,0
3. Juni	12—3 ,,	23,6	14,0		12—3 ,,	13,0	12,7
	3—6 früh	26,8	13,8		3—6 Abend	11,6	12,3
	6—9 ,,	26.5	14,1		6—9 ,,	10,7	12,1
	9—12 Mittag	21,2	14,5		9—12 Nacht	12,3	12,0
	12—3 ,,	18,4	14,4	5. Juni	12—3 ,,	14,6	11,9
	3—6 Abend	14,4	14,0		3—6 früh	15,2	11,8
	6—9 ,,	14,2	13,8		6—9 ,,	12,9	11,7
	9—12 Nacht	17,0	13,5		9—12 Mittag	11,5	11,9

Reihe B.

Zimmer verfinstert; Pflanze im Zinkrecipienten.

Tag.	Stunde von—bis	Zuwachs in 3 St. Mill. am Bogen.	3stündige Temperaturmittel °R.	Tag.	Stunde von—bis	Zuwachs in 3 St. Mill. am Bogen.	3stündige Temperaturmittel °R.
7. Juni	6—9 Abend	10,8	11,°0	9. Juni	12—3 Nacht	14,6	10,9
	9—12 Nacht	12,2	10,9		3—6 früh	16,2	10,8
8. Juni	12—3 ,,	10,2	10,8		6—9 ,,	16,7	10,8
	3—6 früh	10,2	10,7		9—12 Mittag	16,5	10,9
	6—9 ,,	9,0	10,7		12—3 ,,	16,6	11,1
	9—12 Mittag	14,2	10,9		3—6 Abend	16,8	11,3
	12—3 ,,	17,3	11,1		6—9 ,,	15,9	11,3
	3—6 Abend	15,6	11,2		9—12 Nacht	15,5	11,1
	6—9 ,,	14,7	11,2	10. Juni	12—3 ,,	15,9	11,0
	9—12 Nacht	14,8	11,1		3—6 früh	16,6	10,9

Tag.	Stunde von—bis	Zuwachs in 3 St. Mill. am Bogen.	3stündige Temperatur-mittel °R.	Tag.	Stunde von—bis	Zuwachs in 3 St. Mill. am Bogen.	3stündige Temperatur-mittel °R.
10. Juni	6—9 früh	16,7	11,0	11. Juni	9—12 Nacht	13,8	11,9
	9—12 Mittag	17,9	11,4	12. Juni	12—3 ,,	14,5	11,8
	12—3 ,,	18,0	11,6		3—6 früh	14,0	11,7
	3—6 Abend	13,3	11,7		6—9 ,,	15,3	11,8
	6—9 ,,	14,6	11,6		9—12 Mittag	15,7	12,2
	9—12 Nacht	19,0	11,6		12—3 ,,	14,4	12,3
11. Juni	12—3 ,,	17,8	11,6		3—6 Abend	14,3	12,3
	3—6 früh	18,2	11,6		6—9 ,,	14,6	12,3
	6—9 ,,	19,8	11,7		9—12 Nacht	13,5	12,2
	9—12 Mittag	20,7	12,2	13. Juni	12—3 ,,	15,7	12,1
	12—3 ,,	17,4	12,4		3—6 früh	14,6	12,0
	3—6 Abend	13,9	12,2		6—9 ,,	16,0	12,1
	6—9 ,,	13,4	12,1				

Reihe C.

Diffuses Tageslicht durch ein Südfenster; Pflanze im Zinkrecipienten.

Tag.	Stunde von—bis	Zuwachs in 3 St. Mill. am Bogen.	3stündige Temperatur-mittel °R.	Tag.	Stunde von—bis	Zuwachs in 3 St. Mill. am Bogen.	3stündige Temperatur-mittel °R.
14. Juni	12—3 Mittag	14,5	14,05	15. Juni	3—6 Abend	14,3	15,6
	3—6 Abend	8,7	14,2		6—9 ,,	16,3	15,3
	6—9 ,,	8,2	13,9		9—12 Nacht	17,3	15,3
	9—12 Nacht	8,8	13,9	16. Juni	12—3 ,,	17,3	15,2
15. Juni	12—3 ,,	12,0	13,9		3—6 früh	17,5	15,1
	3—6 früh	12,0	13,8		6—9 ,,	16,4	15,3
	6—9 ,,	11,6	14,2		9—12 Mittag	15,8	16,6
	9—12 Mittag	9,7	15,3		12—3 ,,	14,2	17,0
	12—3 ,,	10,8	15,8		3—6 Abend	13,5	16,9

9.

Dahlia variabilis.

Etiolirte Pflanze im Finstern. Tägliche und grosse Periode des Wachsthums. Ablesung der Zuwachse am Maassstab mittels Zeigers am Faden (vergl. p. 111).

Der im Finstern erwachsene Spross wurde nach Ankoppelung des Fadens mit einem Zinkrecipienten umgeben; der Apparat stand dicht an einem Nordfenster, neben ihm die beiden Thermometer (C⁰), das trockene und nasse, in je eine auf feuchter Erde stehende tubulirte Glasglocke eingesenkt; das nasse Thermometer zeigte Morgens um 7—8^h um 0,2° C.,

Mittags um 0,3°, Abends meist 0,3°C. weniger als das trockene[1]). Bei Anfang des Versuchs war das unterste Internodium 17 Mill., das zweite 36 Mill., das dritte, an dessen oberem Ende der Faden befestigt war, 4 Mill. lang; nach Beendigung der Beobachtungen zeigte sich, dass das erste um 1 Mill., das zweite um 124 Mill., das dritte um 100 Mill. sich verlängert hatte; die Zuwachsangaben beziehen sich also fast ausschliesslich auf die beiden jüngeren Internodien.

Tag.	Stunde der Ablesung.	Mittlere Temp. °C. in diesem Zeitraume.	Zuwachs im Mittel pro Stunde.	Zuwachs in 24 Stunden.	Mittlere Tagestemperatur.
27. April	von 6h Abend		Mill.		
	bis 8h früh	14,01	0,60	16,5 Mill.	14,55
	12 Mittag	14,7	0,75		
	6 Abend	15,5	0,88		
28. April	8 früh	14,6	0,92	22,8 Mill.	14,6
	12 Mittag	14,4	0,97		
	6 Abend	14,9	1,00		
29. April	8 früh	14,2	1,11	30,1 Mill.	14,7
	12 Mittag	15,0	1,50		
	6 Abend	15,5	1,43		
30. April	8 früh	14,7	1,59	34,8[2]) Mill.	15,0
	12 Mittag	15,4	0,77		
	5 Abend	15,5	1,60		
1. Mai	7 früh	14,4	1,28	32,8 Mill.	14,5
	12 Mittag	14,4	1,84		
	6 Abend	15,0	1,20		
2. Mai	7 früh	14,1	1,12	28,8 Mill.	14,3
	12 Mittag	14,3	1,44		
	6 Abend	14,8	1,17		
3. Mai	7 früh	14,0	1,07	26,8 Mill.	14,3
	12 Mittag	14,2	1,35		
	6 Abend	15,1	1,02		
4. Mai	9 früh	14,3	0,75	18,9 Mill.	14,7
	12 Mittag	14,6	1,00		
	6 Abend	15,6	0,77		
5. Mai	7 früh	14,0	0,70	13,1 Mill.	14,3
	12 Mittag	14,1	0,52		
	6 Abend	15,2	0,25		

10.

Aquilegia viscosa.

Grüne Pflanze im Licht. Differenz des Wachsthums bei Tag und Nacht unter dem Einfluss von Licht- und Temperaturschwankung. Beobachtung mittels Zeigers am Faden (p. 141).

Die Pflanze war im Topf erwachsen und hatte vor dem Versuch einige

1) Die Temperaturen wurden von früh 7 oder 8h bis Mittag und von 3h bis Abends 6h stündlich notirt, danach die Mittel für die drei Tageszeiten berechnet.

2) Wegen der Beobachtung 5h Abends statt 6h Abends am 30. Mai ist der an diesem Tage beobachtete Zuwachs von 33,3 um 1,5 Mill. vermehrt, der des folgenden von 34,3 um 1,5 Mill. vermindert worden.

Wochen im Freien gestanden. — Zur Beobachtung diente der Blüthenstengel, der oben einige junge Blüthenknospen trug: das unterste gestreckte Internodium desselben (oberhalb der Laubrosette am Boden) war bei Beginn des Versuches 45 Mill., das zweite 65 Mill., das dritte 11 Mill. lang; unter dem Blatt dieses Internodiums wurde der Faden befestigt. — Der Apparat stand an einem Nordfenster, ein Spiegel, diesem parallel dicht hinter der Pflanze aufgestellt, verhinderte die heliotropische Krümmung vollständig. — Die beiden Thermometer hingen nahe neben der Pflanze und wurden von Morgens bis Abends (mit Ausschluss von 1 und 2 Uhr Nachmittag) stündlich abgelesen; das nasse Thermometer zeigte Morgens um 7 Uhr 1,°9 bis 1,°8 weniger, die Differenz stieg bis Mittag auf 2,°9 oder 2,°5 und erhielt sich bis zum Abend so.

Tag.	Tageszeit.	Stunde von bis	Zuwachs Mittel pro Stunde.	Mittel-Temperatur °C	Beleuchtung.
			Mill.		
3. Mai	Nacht	6 Ab.—7 Fr.	0,80	14,°0	
	Vormittag	7 Fr.—12 M.	0,56	14,6	hell
	Nachmittag	12 M.—6 Ab.	0,95	15,5	hell
4. Mai	Nacht	6 Ab.—9 Fr.	1,31	14,9	
	Vormittag	9 Fr.—12 M.	1,10	14,8	trüb
	Nachmittag	12 M.—6 Ab.	1,28	15,6	hell
5. Mai	Nacht	6 Ab.—7 Fr.	1,17	14,6	
	Vormittag	7 Fr.—12 M.	0,92	14,4	trüb
	Nachmittag	12 M.—6 Ab.	1,10	14,8	trüb
6. Mai	Nacht	6 Ab.—8 Fr.	1,60	14,0	
	Vormittag	8 Fr.—12 M.	1,50	14,5	trüb
	Nachmittag	12 M.—7 Ab.	0,47	14,8	trüb
7. Mai	Nacht	7 Ab.—8 Fr.	0,91	14,1	
	Vormittag	8 Fr.—12 M.	0,90	15,0	hell
	Nachmittag	12 M.—5 Ab.	1,06	15,3	hell
8. Mai	Nacht	5 Ab.—7 Fr.	1,00	14,4	
	Vormittag	7 Fr.—12 M.	0,72	14,8	trüb
	Nachmittag	12 M.—6 Ab.	0,90	15,0	trüb
9. Mai	Nacht	6 Ab.—7 Fr.	0,91	14,1	
	Vormittag	7 Fr.—12 M.	0,58	14,3	trüb
	Nachmittag	12 M.—6 Ab.	0,82	14,8	hell
10. Mai	Nacht	6 Ab.—7 Fr.	0,8	13,9	
	Vormittag	7 Fr.—12 M.	0,52	14,3	hell
	Nachmittag	12 M.—6 Ab.	0,87	15,3	hell

11.

Dahlia variabilis.

Grüne Pflanze im Lichte (Taf. V). Tägliche Periode unter dem Einfluss von Licht- und Temperaturschwankung. Beobachtung am Auxanometer: 12malige Vergr. der Zuwachse.

Der Faden wurde unter dem dritten Blattpaar befestigt, dieses sowie die beiden unteren Paare abgeschnitten; die Schnittwunden bluteten be-

ständig während der Beobachtungszeit. — Die Pflanze stand 2 Meter vom Ost- und Südfenster entfernt, und erhielt nur diffuses Tageslicht; um die Morgensonne abzuhalten, wurde täglich Abends um 6 Uhr das Ostfenster mit einem schwarzen Schirm verstellt, der Morgens um 7 Uhr wieder entfernt wurde; zwei dicht hinter der Pflanze, den beiden Fenstern parallel aufgestellte Spiegel hinderten die heliotropische Krümmung vollständig. — Zur Beseitigung allzugrosser Schwankungen der psychrometrischen Differenz und Erhaltung einer höheren Luftfeuchtigkeit wurden täglich Morgens um 7 Uhr die Dielen des Zimmers mit Wasser besprengt. — Die beiden Thermometer hingen frei neben der Pflanze.

A. Stündliche Beobachtungen.

Tag.	Stunde.	Zuwachs in 1 St. Mill. am Bogen.	Temp. °R.		Beleuchtung.
			Luft.	psychr. Differenz.	
23. Mai	8 früh		12,8	2,5	
	9 ,,	7,3	13,3	2,5	
	10 ,,	5,6	14,0		sehr hell.
	11 ,,	5,2	14,3	2,8	
	12 Mittag	5,5	15,5	2,8	
	1 ,,	6,0			
	2 ,,	5,8			
	3 ,,	5,4	14,1	2,7	hell.
	4 ,,	4,5	13,9	2,6	
	5 ,,	5,0	13,9	2,7	
	6 Abend	4,5	13,8	2,6	
	7 ,,	3,5			
	8 ,,	6,5			
	9 ,,	9,2			
	10 ,,	6,0			
	11 ,,	5,2			
	12 Nacht	6,5			
24. Mai	1 ,,	6,6			
	2 ,,	7,1			
	3 ,,	6,5			
	4 ,,	7,3			
	5 ,,	7,6			
	6 früh	8,0	12,5		
	7 ,,	11,8	13,5	2,5	
	8 ,,	16,0	14,9	2,5	
	9 ,,	7,8	15,2	3,0	
	10 ,,	8,5	15,2	2,4	
	11 ,,	12,4	15,2	2,4	
	12 Mittag	9,6	15,2	2,3	sehr hell.
	1 ,,	8,3	15,2	2,2	
	2 ,,	7,2			
	3 ,,	6,3	14,8	2,3	
	4 ,,	6,5	14,7	2,2	
	5 ,,	4,8	14,6	2,2	
	6 Abend	6,0	14,5	2,4	
	7 ,,	7,3			
	8 ,,	12,5			
	9 ,,	9,5			
	10 ,,	10,0			

Tag.	Stunde.	Zuwachs in 1 St. Mill. am Bogen.	Temp. °R. Luft.	Temp. °R. psychr. Differenz.	Beleuchtung.
24. Mai	11 Abend	10,0			
	12 Nacht	11,0			
25. Mai	1 ,,	11,9			
	2 ,,	11,2			
	3 ,,	12,2			
	4 ,,	13,5			
	5 ,,	13,5			
	6 früh	13,5	13,5		
	7 ,,	16,5	14,3	1,4	
	8 ,,	19,3	15,3	2,1	
	9 ,,	10,5	15,7	2,4	sehr hell.
	10 ,,	16,3	15,8	2,0	
	11 ,,	15,0	15,9	1,9	
	12 Mittag	13,2	15,9	2,1	
	1 ,,	11,5			
	2 ,,	9,0			
	3 ,,	6,6	15,6	2,1	hell.
	4 ,,	5,0			
	5 ,,	5,5			
	6 Abend	4,8	15,1		
	7 ,,	4,5			
	8 ,,	6,5	14,9	1,6	
	9 ,,	11,0			
	10 ,,	14,0			
	11 ,,	11,0			
	12 Nacht	12,8			
26. Mai	1 ,,	13,0			
	2 ,,	12,3			
	3 ,,	15,0			
	4 ,,	14,0			
	5 ,,				
	6 früh	Neu eingestellt	13,8		
	7 ,,				
	8 ,,		16,2	2,4	
	9 ,,	8,4	16,7	2,4	sehr hell.
	10 ,,	16,7	16,7	2,3	
	11 ,,	16,5	16,8	2,1	
	12 Mittag	13,0	16,9	2,2	
	1 ,,	9,0			
	2 ,,	7,0			
	3 ,,	5,6	16,7	2,4	hell.
	4 ,,	6,0	16,5	2,3	
	5 ,,	4,5	16,4	2,2	
	6 Abend	3,8	16,2	1,9	
	7 ,,	5,2			
	8 ,,	11,7			
	9 ,,	13,0			
	10 ,,	11,5			
	11 ,,	8,8			
	12 Nacht	8,5			
27. Mai	1 ,,	7,0			
	2 ,,	15,2			
	3 ,,	17,0			
	4 ,,	15,3			
	5 ,,	17,5			
	6 früh	19,5	14,7		sehr hell.
	7 ,,	23,5	15,7		

Tag.	Stunde.	Zuwachs in 1 St. Mill. am Bogen.	Temp. °R. Luft.	Temp. °R. psychr. Differenz.	Beleuchtung.
27. Mai	8 früh	15,5	16,9	1,9	sehr hell.
	9 ,,	11,0	17,3	2,0	
	10 ,,	13,0	17,5	2,0	
	11 ,,	8,4	17,8	2,0	
	12 Mittag	4,5	17,8	2,1	
	1 ,,	3,0			
	2 ,,	1,0			
	3 ,,	1,2	17,2	2,0	

B. Dreistündige Werthe nach der Tabelle A berechnet.

Tag.	Stunde von—bis	Zuwachs in 3 St. Mill. am Bogen.	Mittel-Temp. °R. der drei Stunden.	$\frac{z}{t-10}$
23. Mai	9—12 Mittag	16,3	14,3	38
	12—3 ,,	17,2	14,8	35
	3—6 Abend	14,0	13,9	36
	6—9 ,,	19,2	13,6	53
	9—12 Nacht	17,7	13,3	54
24. Mai	12—3 ,,	20,2	13,0	67
	3—6 früh	22,9	12,7	85
	6—9 ,,	35,6	14,0	89
	9—12 Mittag	30,5	15,2	58
	12—3 ,,	21,8	15,1	43
	3—6 Abend	16,8	14,6	36
	6—9 ,,	29,3	14,4	67
	9—12 Nacht	31,0	14,1	76
25. Mai	12—3 ,,	35,3	13,9	91
	3—6 früh	40,5	13,6	112
	6—9 ,,	46,3	14,7	98
	9—12 Mittag	44,5	15,8	76
	12—3 ,,	27,1	15,7	47
	3—6 Abend	15,3	15,4	28
	6—9 ,,	22,0	15,0	44
	9—12 Nacht	37,8	14,6	82
26. Mai	12—3 ,,	40,3	14,3	94
	3—6 früh	neu ein-		
	6—9 ,,	gestellt		
	9—12 Mittag	46,2	16,8	68
	12—3 ,,	21,6	16,8	32
	3—6 Abend	14,3	16,4	22
	6—9 ,,	29,9	16,0	49
	9—12 Nacht	28,8	15,6	51
27. Mai	12—3 ,,	39,2	15,1	77
	3—6 früh	52,3	14,9	107
	6—9 ,,	50,0	16,1	81
	9—12 Mittag	25,9	17,6	34
	12—3 ,,	5,2	17,5	0,7

12.

Dahlia variabilis.

Grüne Pflanze im Licht (Taf. VI). Tägliche Periode unter dem Einfluss der Licht- und Temperaturschwankung. Beobachtung am Auxanometer; 12malige Vergrösserung der Zuwachse.

Bei einem am Südfenster erwachsenen Spross, dessen erstes, zweites und drittes Internodium bereits aufgehört hatten zu wachsen, war das 4. Internodium 50 Mill. lang und noch im Wachsthum begriffen, das 5. 7 Mill. lang, begann eben kräftig sich zu verlängern; dieses wurde unter seinem Blattpaar angekoppelt; die verzeichneten Zuwachse beziehen sich also auf das 4. und 5. Internodium; am Ende des Versuchs, nach 136 Stunden war das 4. Internodium 101 Mill., das 5. 43 Mill. lang; der Zuwachs beider zusammengenommen betrug also 87 Mill. direkt mit dem Maassstab gemessen; die Summe der stündlichen Messungen dividirt durch 12 ergiebt aber 90,5 Mill. Zuwachs; die Differenz von 3,5 Mill. kommt zum Theil auf die Ungenauigkeit der direkten vier Messungen, z. Th. auf die kleinen Fehler bei den 136 Messungen der stündlichen Zuwachse auf dem berussten Papier. — Die Pflanze stand während der Beobachtung je 2 Meter vom Ost- und Südfenster entfernt und erhielt Tags nur diffuses Licht; um das direkte Sonnenlicht am Morgen abzuhalten, wurde das Ostfenster täglich um 7 Uhr Abends mit einem schwarzen Schirm verstellt, der am folgenden Morgen um 7 Uhr, wenn die Sonnenstrahlen die Pflanze nicht mehr treffen konnten, wieder entfernt wurde. Zwei Spiegel, dicht hinter der Pflanze, den beiden Fenstern parallel aufgestellt, hinderten die heliotropische Krümmung vollständig. — Zur Beseitigung allzustarker Schwankungen der psychrometrischen Differenz in der Umgebung der nicht bedeckten Pflanze wurden bei Beginn des Versuchs, dann täglich Morgens um 7 Uhr, einigemal auch nach Mittag die Dielen des Zimmers mit Wasser übergossen; das trockene und nasse Thermometer hingen nahe neben der Pflanze, deren Blätter ausserhalb der Knospe abgeschnitten waren.

A. Stündliche Beobachtungen.

Tag.	Stunde.	Zuwachs in 1 St. Mill. am Bogen.	Temp. °R. Luft.	psychr. Differenz.	Beleuchtung.
19. Juni	5—6 Abend	3,0	17,6	2,1	trüb.
	7 Abend	3,0	17,1	2,1	
	8 ,,	3,3			
	9 ,,	4,8			
	10 ,,	5,0			
	11 ,,	4,8			
	12 ,,	4,0			
20. Juni	1 Nacht	5,0			

Tag.	Stunde.	Zuwachs in 1 St. Mill. am Bogen.	Temp. °R. Luft.	psychr. Differenz.	Beleuchtung.
20. Juni	2 Nacht	5,0			
	3 ,,	5,8			
	4 ,,	6,1			
	5 ,,	5,8			
	6 früh	4,3			trüb.
	7 ,,	6,5	16,5	1,5	
	8 ,,	8,0	17,3	2,1	
	9 ,,	14,0	17,3	2,1	
	10 ,,	14,3	17,2	2,0	heiter.
	11 ,,	15,6	17,5	2,0	
	12 Mittag	10,0	17,3	2,0	
	1 ,,	7,1	17,4	2,0	
	2 ,,	4,8			trüb.
	3 ,,	3,4	17,3	2,0	
	4 ,,	2,2	17,2	2,0	
	5 ,,	2,4			
	6 Abend	2,5	16,5	1,9	
	7 ,,	4,3	16,4	1,8	
	8 ,,	5,1			
	9 ,,	6,5			
	10 ,,	5,8			
	11 ,,	7,3			
	12 Nacht	8,1			
21. Juni	1 ,,	8,8			
	2 ,,	9,6			
	3 ,,	10,8			
	4 ,,	11,5			
	5 ,,	12,5			
	6 ,,	13,5			hell.
	7 früh	15,5	15,7	2,7	
	8 ,,	12,4	17,6	2,4	
	9 ,,	12,5	16,5	2,1	trüb.
	10 ,,	17,0			
	11 ,,	10,5			
	12 Mittag	10,3	16,9	2,2	
	1 ,,	7,0			
	2 ,,	5,5	16,6	2,0	
	3 ,,	neu eingestellt	16,3	2,0	trüb.
	4 ,,	4,5	16,2	1,7	
	5 ,,	4,2			
	6 Abend	3,5	15,8	1,5	
	7 ,,	5,6	15,7	1,4	
	8 ,,	5,0			
	9 ,,	11,0			
	10 ,,	9,0			
	11 ,,	9,0			
	12 Nacht	9,2			
22 Juni	1 ,,	10,4			
	2 ,,	11,0			
	3 ,,	11,5			
	4 ,,	12,0			
	5 ,,	11,6			
	6 früh	11,0			
	7 ,,	12,4	15,5	2,1	heiter.
	8 ,,	12,5	16,5	2,3	
	9 ,,	11,0	15,9	1,9	
	10 ,,	12,2	15,8	1,9	

Tag.	Stunde.	Zuwachs in 1 St. Mill. am Bogen.	Temp. °R. Luft.	Temp. °R. psychr. Differenz.	Beleuchtung.
22. Juni	11 früh	12,6	15,8	2,2	
	12 Mittag	10,0	16,1	2,2	
	1 ,,	7,2			
	2 ,,	5,2			
	3 ,,	4,5	16,1	2,2	heiter.
	4 ,,	4,0	15,8	1,8	
	5 ,,	3,6	15,8	1,7	
	6 Abend	3,0	15,6	1,6	
	7 ,,	4,3	15,4	1,5	
	8 ,,	7,0			
	9 ,,	11,0			
	10 ,,	9,5			
	11 ,,	7,5			
23. Juni	12 Nacht	8,0			
	1 ,,	10,8			
	2 ,,	10,4			
	3 ,,	11,6			
	4 ,,	12,0			
	5 ,,	11,2			
	6 früh	10,6			
	7 ,,	11,5	15,4	1,5	
	8 ,,	13,5	16,9	1,6	
	9 ,,	12,4	16,8	1,5	
	10 ,,	neu eingestellt	16,5	1,6	heiter.
	11 ,,	13,5			
	12 Mittag	7,8	16,5	1,3	
	1 ,,	3,5			
	2 ,,	3,5			
	3 ,,	3,0	16,5	1,4	
	4 ,,	2,6	16,2	1,3	
	5 ,,	3,5			trüb.
	6 Abend	2,5	15,9	1,3	
	7 ,,	4,2	15,8	1,3	
	8 ,,	7,2			
	9 ,,	8,0			
	10 ,,	8,0			
	11 ,,	7,5			
24. Juni	12 Nacht	8,5			
	1 ,,	9,6			
	2 ,,	10,2			
	3 ,,	10,4			
	4 ,,	11,0			
	5 ,,	11,5			
	6 früh	10,8			
	7 ,,	11,5	15,1	1,3	
	8 ,,	12,3			
	9 ,,	9,0	15,6	1,5	
	10 ,,	9,5	16,1	1,7	
	11 ,,	9,5	16,0	1,6	
	12 Mittag	7,6	16,4	1,8	
	1 ,,	5,0			trüb.
	2 ,,	5,3			
	3 ,,	4,0	16,4	1,3	
	4 ,,	2,0	16,4	1,3	
	5 ,,	1,8			
	6 Abend	3,0	15,9	1,2	
	7 ,,	4,2	15,8	1,1	

Tag.	Stunde.	Zuwachs in 1 St. Mill. am Bogen.	Temp. °R. Luft.	psychr. Differenz.	Beleuchtung.
24. Juni	8 Abend	6,5			
	9 ,,	8,0			
	10 ,,	6,0			
	11 ,,	5,8			
	12 Nacht	6,8			
25. Juni	1 ,,	7,5			
	2 ,,	8,0			
	3 ,,	9,0			
	4 ,,	9,0			
	5 ,,	9,0			
	6 früh	9,5			
	7 ,,	11,5	15,3	1,3	
	8 ,,	10,2	15,2	1,3	
	9 ,,	9,0	15,2	1,3	

B. Dreistündige Werthe nach der Tabelle A berechnet.

Tag.	Stunde von—bis	Zuwachs in 3 St. Mill. am Bogen.	Temp. während des dreistünd. Zeitraumes.	in runden Zahlen $\frac{z}{t-10}$	$\frac{z}{t-15}$
19. Juni	6—9 Abend	11,1	17,2	15	5
	9—12 Nacht	13,8	17,0	19	7
20. Juni	12—3 ,,	15,8	16,9	23	8
	3—6 früh	16,2	16,7	24	9
	6—9 ,,	28,5	16,9	41	15
	9—12 Mittag	39,9	17,3	54	17
	12—3 ,,	15,3	17,3	21	7
	3—6 Abend	7,1	17,0	10	3,5
	6—9 ,,	15,9	16,4	25	11
	9—12 Nacht	21,2	16,2	34	18
21. Juni	12—3 ,,	29,2	16,0	48	29
	3—6 früh	37,5	15,8	65	47
	6—9 ,,	40,4	16,6	63	29
	9—12 Mittag	37,8	16,7	56	22
	12—3 ,,	17,5	16,6	26	11
	3—6 Abend	12,2	16,1	20	11
	6—9 ,,	21,6	15,7	38	31
	9—12 Nacht	27,2	15,6	48	32
22. Juni	12—3 ,,	32,9	15,6	59	55
	3—6 früh	34,6	15,5	63	69
	6—9 ,,	35,9	15,9	61	39
	9—12 Mittag	34,8	15,9	59	39
	12—3 ,,	16,9	16,1	28	15
	3—6 Abend	10,6	15,8	18	13
	6—9 ,,	22,3	15,4	41	56
	9—12 Nacht	25,0	15,4	46	62
23. Juni	12—3 ,,	32,8	15,4	61	82
	3—6 früh	33,8	15,4	63	84
	6—9 ,,	37,4	16,1	61	34
	9—12 Mittag	34,3	16,6	52	21
	12—3 ,,	10,0	16,5	15	7
	3—6 Abend	8,6	16,2	14	7

Tag.	Stunde von—bis	Zuwachs in 3 St. Mill. am Bogen.	Temp. während des dreistünd. Zeitraumes.	in runden Zahlen $\frac{z}{1-10}$	$\frac{z}{1-15}$
23. Juni	6—9 Abend	19,4	15,8	33	24
	9—12 Nacht	24,0	15,6	43	40
24. Juni	12—3 ,,	30,2	15,4	56	75
	3—6 früh	33,3	15,2	64	166
	6—9 ,,	32,8	15,3	62	109
	9—12 Mittag	26,6	16,0	44	27
	12—3 ,,	14,3	16,4	22	10
	3—6 Abend	6,8	16,2	11	6
	6—9 ,,	18,7	15,8	32	23
	9—12 Nacht	18,6	15,7	33	26
25. Juni	12—3 ,,	24,5	15,5	44	49
	3—6 früh	27,5	15,4	51	69
	6—9 ,,	30,7	15,2	59	153

13.

Polemonium reptans.

Grüne Pflanze im Licht (Taf. VII). Tägliche Periode unter dem Einfluss der Licht- und Temperaturschwankung. Beobachtung am Auxanometer; 12malige Vergr. der Zuwachse.

Die Pflanze hatte im Topf überwintert; die Sprosse wurden bis auf einen mit sechs gefiederten Blättern versehenen Blüthenstengel weggeschnitten; an diesem wurde der Faden über dem 6. Blatt dicht unter der Knospe befestigt. Die Gesammtfläche der 6 Blätter nach beendigtem Versuch mittels einer getheilten Glasscheibe gemessen, betrug annähernd 25 Quadratcentimeter. Der Stengel hatte von der Basis bis zum Befestigungspunkt des Fadens am Anfang des Versuchs 81,5 Mill. Höhe; eine mit schwarzen Strichen angedeutete Theilung desselben in gleiche Stücke zeigte am Ende des Versuchs, dass das untere 21 Mill. lange Stück gar nicht mehr gewachsen war, die anderen aber um so mehr, je näher sie dem Gipfel lagen; das Wachsthum war also ein entschieden basifugales. — Der Topf stand während der Beobachtung in einem, ihn eng umschliessenden Blechgefäss und war mit einem den Stengel durchlassenden halbirten Glasdeckel bedeckt. — Die Pflanze, sowie die beiden in ihrer Nähe befindlichen Thermometer waren der Luft des Zimmers frei ausgesetzt. — Die Beleuchtung erfolgte vorwiegend durch das 1 Meter entfernte Südfenster, zum Theil durch das 2 Meter entfernte Ostfenster; direkte Sonnenstrahlen wurden von der Pflanze wie von den Thermometern durch einen Papierschirm, der aber noch sehr helles Licht durchliess, abgehalten.

A. Stündliche Beobachtungen.

Tag.	Stunde.	Zuwachs Mill. am Bogen.	Temp. °R. Luft.	Temp. °R. psychr. Differenz.	Beleuchtung.
23. April	11 früh		11,9	1,8	
	12 Mittag	6,0	11,8	1,7	trüb.
	1 ,,	3,3			
	2 ,,	3,0			
	3 ,,	1,5	12,0	1,8	
	4 ,,	1,5	12,0	1,7	heiter.
	5 ,,	1,7			
	6 Abend	1,5	11,7	1,8	
	7 ,,	2,8			
	8 ,,	1,5			
	9 ,,	1,5			
	10 ,,	1,3			
	11 ,,	2,0			
	12 Nacht	2,5			
24. April	1 ,,	2,7			
	2 ,,	3,0			
	3 ,,	3,2			
	4 ,,	3,5			
	5 ,,	3,5			
	6 früh	3,8			
	7 ,,	3,3	11,0	1,7	
	8 ,,	3,5	11,3	1,7	
	9 ,,	3,2	11,3	1,7	trüb.
	10 ,,	2,2	11,4	1,8	
	11 ,,	2,2	11,6	1,8	
	12 Mittag	3,8	11,8	1,9	seit 11^h 30^m Sonne hinter Schirm.
	1 ,,	3,1			
	2 ,,	2,6			heiter.
	3 ,,	2,8	12,1	1,9	trüb.
	4 ,,	3,3	11,9	2,0	
	5 ,,	1,8	11,8	1,8	heiter.
	6 Abend	1,5	11,8	1,9	
	7 ,,	1,0			
	8 ,,	1,2			
	9 ,,	1,5			
	10 ,,	1,5			
	11 ,,	1,5			
	12 Nacht	1,7			
25 April	1 ,,	2,0			
	2 ,,	1,6			
	3 ,	2,0			
	4 ,,	2,0			
	5 ,,	2,4			
	6 früh	2,7			
	7 ,,	2,1	10,8	1,6	
	8 ,,	2,0	10,9	1,6	
	9 ,,	1,8	11,1	1,8	
	10 ,,	1,5	10,9	1,6	sehr trüb.
	11 ,,	1,6	11,0	1,7	
	12 Mittag	1,5	11,4	1,8	
	1 ,,	2,2			
	2 ,,	3,6			
	3 ,,	2,5	11,6	1,9	heiter.
	4 ,,	2,0	11,7	1,9	
	5 ,,	1,0	11,5	1,9	

Tag.	Stunde.	Zuwachs Mill. am Bogen.	Temp. °R. Luft.	psychr. Differenz.	Beleuchtung.
25. April	6 Abend	1,0	11,4	1,9	heiter.
	7 ,,	2,0			
	8 ,,	2,3			
	9 ,,	2,2			
	10 ,,	3,5			
	11 ,,	3,8			
	12 Nacht	4,2			
26. April	1 ,,	3,8			
	2 ,,	4,0			
	3 ,,	4,2			
	4 ,,	4,8			
	5 ,,	5,5			
	6 früh	5,7			
	7 ,,	3,5	10,7	1,9	heiter.
	8 ,,	3,5	11,0	1,9	
	9 ,,	3,5	11,8	2,0	Sonne auf dem Schirm.
	10 ,,	3,6	12,0	2,0	
	11 ,,	3,5	12,8	2,2	
	12 Mittag	3,8	12,6	2,0	
	1 ,,	6,2			heiter.
	2 ,,	7,6			
	3 ,,	6,0	12,2	1,9	
	4 ,,	5,3	12,0	1,9	
	5 ,,	4,5	11,9	1,9	
	6 Abend	5,0	11,8	1,8	
	7 ,,	3,5			
	8 ,,	3,3			
	9 ,,	5,6			
	10 ,,	4,5			
	11 ,,	5,0			
	12 Nacht	5,0			
27. April	1 ,,	4,8			
	2 ,,	5,2			
	3 ,,	5,4			
	4 ,,	6,5			
	5 ,,	6,5			
	6 früh	7,5			
	7 ,,	5,5	11,2	1,7	trüb.
	8 ,,	5,0			
	9 ,,	3,2	12,5	2,0	Sonne auf dem Schirm.
	10 ,,	4,8	13,0	2,1	
	11 ,,	4,5	13,1	2,2	weisse Wolke.
	12 Mittag	8,5	12,7	2,0	
	1 ,,	8,4			trüb.
	2 ,,	8,4			
	3 ,,	6,8	12,5	2,1	
	4 ,,	5,5	12,5	2,1	
	5 ,,	5,0			
	6 Abend	4,6	12,1	1,9	
	7 ,,	4,0			
	8 ,,	4,3			
	9 ,,	7,0			
	10 ,,	6,4			
	11 ,,	6,7			
	12 Nacht	6,3			
28. April	1 ,,	6,5			
	2 ,,	6,3			
	3 ,,	6,8			

Tag.	Stunde.	Zuwachs Mill. am Bogen.	Temp. °R. Luft.	psychr. Differenz.	Beleuchtung.
28. April	4 Nacht	7,4			
	5 ,,	8,0			
	6 früh	8,1			
	7 ,,	6,1	11,3	1,8	
	8 ,,	7,0	11,8	1,8	Sonne auf Schirm.
	9 ,,	6,3	11,7	1,8	sehr trüb.
	10 ,,	7,8	11,6	1,8	Regen.
	11 ,,	5,0	11,8	1,8	trüb.
	12 Mittag	5,0	12,1	1,9	Sonne—trüb.
	1 ,,	8,0			,, ,,
	2 ,,	7,5			,, ,,
	3 ,,	9,8	11,9	1,8	trüb.
	4 ,,	5,6	12,1	1,9	
	5 ,,	3,5	12,0	1,8	heiter.
	6 Abend	3,0	11,9	1,7	
	7 ,,	3,2			
	8 ,,	5,5			
	9 ,,	8,5			
	10 ,,	7,2			
	11 ,,	6,8			
	12 Nacht	6,5			
29. April	1 ,,	6,0			
	2 ,,	6,1			
	3 ,,	6,5			
	4 ,,	7,4			
	5 ,,	8,0			
	6 früh	7,5			
	7 ,,	4,5	11,5	1,8	heiter.
	8 ,,	3,2	11,7	1,8	weisse Wolken.
	9 ,,	2,6	12,0	1,9	,,
	10 ,,	6,4	12,3	1,9	trüb und hell.
	11 ,,	5,7	12,4	2,0	sonnig.
	12 Mittag	7,0	12,4	2,0	weisse Wolken.
	1 ,,	6,5			,,
	2 ,,	6,5			,,
	3 ,,	7,0	12,7	2,0	,,

B. Dreistündige Werthe nach Tabelle A.

Tag.	Stunde von—bis	3stündige Zuwachse Mill. am Bogen.	Mitteltemp. der Luft °R. für 3 St.	$\frac{z}{t-10}$
23. April	12—3 Mittag	7,8	11,9	4,1
	3—6 Abend	4,7	11,9	2,5
	6—9 ,,	5,8	11,6	3,6
	9—12 Nacht	5,8	11,4	4,1
24. April	12—3 ,,	8,9	11,3	6,8
	3—6 früh	10,8	11,1	9,8
	6—9 ,,	10,0	11,2	8,3
	9—12 Mittag	8,2	11,5	5,5
	12—3 ,,	8,5	11,9	4,5

Tag.	Stunde von—bis	3stündige Zuwachse Mill. am Bogen.	Mitteltemp. der Luft °R. für 3 St.	$\frac{z}{t-10}$
24. April	3—6 Abend	6,6	11,9	3,5
	6—9 ,,	3,7	11,7	2,2
	9—12 Nacht	4,7	11,4	3,3
25. April	12—3 ,,	5,6	11,3	4,3
	3—6 früh	7,1	11,1	6,4
	6—9 ,,	5,9	10,9	6,6
	9—12 Mittag	4,6	11,1	4,2
	12—3 ,,	8,3	11,5	5,5
	3—6 Abend	4,0	11,5	2,7
	6—9 ,,	6,5	11,3	5,0
	9—12 Nacht	11,5	11,1	10,5
26. April	12—3 ,,	12,0	11,0	12,0
	3—6 früh	16,0	10,8	20,0
	6—9 ,,	10,5	11,5	7,0
	9—12 Mittag	10,9	12,3	4,7
	12—3 ,,	19,8	12,4	8,2
	3—6 Abend	14,8	12,0	7,4
	6—9 ,,	12,4	11,7	7,2
	9—12 Nacht	14,5	11,6	9,0
27. April	12—3 ,,	15,4	11,4	11,0
	3—6 früh	20,5	11,3	15,8
	6—9 ,,	13,7	11,8	7,6
	9—12 Mittag	17,8	12,8	6,4
	12—3 ,,	23,6	12,6	9,1
	3—6 Abend	15,1	12,4	6,3
	6—9 ,,	15,3	12,0	7,6
	9—12 Nacht	19,4	11,8	10,8
28. April	12—3 ,,	19,6	11,6	12,2
	3—6 früh	23,5	11,4	16,7
	6—9 ,,	19,4	11,6	12,1
	9—12 Mittag	17,8	11,8	9,9
	12—3 ,,	25,3	12,0	12,6
	3—6 Abend	12,1	12,0	6,0
	6—9 ,,	17,2	11,8	9,5
	9—12 Nacht	20,5	11,7	12,1
29. April	12—3 ,,	18,6	11,7	10,9
	3—6 früh	22,9	11,6	14,3
	6—9 ,,	10,3	11,7	6,0
	9—12 Mittag	19,1	12,3	8,3
	12—3 ,,	20,0	12,6	7,7

14.

Richardia aethiopica.

Grüne Pflanze am Licht. Tägliche Periode unter dem Einfluss der Licht- und Temperaturschwankung. Beobachtung am Auxanometer; 12malige Vergr. der Zuwachse.

Zur Beobachtung diente der Blüthenschaft einer seit dem Vorjahr im Topf vegetirenden Pflanze; die das Internodium umhüllende Blattscheide wurde beseitigt, ein vollständig entwickeltes Blatt weggeschnitten, ein

Seitenspross mit noch nicht entfaltetem Laubblatt (welches sich während des Versuchs nicht ganz entfaltete) aber stehen gelassen. Die noch zusammengewickelte Spatha sammt dem Spadix wurde über der Basis abgeschnitten, der Faden unter der Insertion jener befestigt. Von der Oberfläche des Bodens bis zum Faden mass das Internodium 220 Mill.; in gleichen Entfernungen aufgetragene schwarze Striche zeigten nach Beendigung des Versuchs, dass das unterste Stück von 17 Mill. Länge gar nicht gewachsen war, dass das Wachsthum nach oben hin stark zunahm; die angegebenen Zuwachse betreffen demnach nur die vom Licht getroffenen Theile des dunkelgrün gefärbten Internodiums. — Die Pflanze stand frei, unbedeckt, 1 Meter vom Südfenster entfernt, ohne von der Sonne getroffen zu werden, also nur von diffusem Licht beleuchtet; ein Spiegel hinderte die heliotropische Krümmung vollständig. — Die beiden Thermometer hingen frei neben der Pflanze. — Der Querschnitt des Spadix schied in den Nächten vom 16. zum 17., vom 17. zum 18. Wasser aus, was in der Nacht vom 18. zum 19. April unterblieb. — Wegen der Dicke und Rigidität des Schaftes wurde ein Gewicht von 50 Gramm vorn an die Rolle gehängt.

A. Stündliche Beobachtungen.

Tag.	Stunde.	Zuwachs Mill. am Bogen.	Temp. ⁰R. Luft.	Temp. ⁰R. psychr. Differenz.	Beleuchtung.
16. April	7–8 früh	2,8	11,5	1,9	heiter.
	9 früh	2,5	11,4	1,9	
	10 ,,	2,0	11,2	1,9	trüb.
	11 ,,	1,9	11,5	2,0	
	12 Mittag	2,2	11,6	1,9	
	1 ,,	1,7			
	2 ,,	2,0			
	3 ,,	2,5	11,8	2,0	heiter.
	4 ,,	2,0	11,7	2,0	
	5 ,,	2,0	11,6	1,9	
	6 Abend	2,0	11,5	1,9	Regen.
	7 ,,	2,3	11,4	1,9	,,
	8 ,,	1,8			
	9 ,,	1,5			
	10 ,,	1,5			
	11 ,,	1,5			
	12 Nacht	1,5			
17. April	1 ,,	2,0			
	2 ,,	2,5			
	3 ,,	2,8			
	4 ,,	2,8			
	5 ,,	2,8			
	6 früh	2,6			
	7 ,,	2,9			
	8 ,,	3,2	10,9	1,6	
	9 ,,	3,0	11,0	1,7	
	10 ,,	3,1	11,1	1,7	trüb; Erde begossen.
	11 ,,	2,7	11,1	1,8	
	12 Mittag	3,3	11,1	1,7	

Tag.	Stunde.	Zuwachs Mill. am Bogen.	Temp. °R. Luft.	psychr. Differenz.	Beleuchtung.
17. April	1 Mittag	2,3			
	2 ,,	2,1			heiter.
	3 ,,	2,2	11,5	1,8	
	4 ,,	2,7	11,5	1,7	
	5 ,,	2,5	11,4	1,8	trüb.
	6 Abend	3,0	11,3	1,8	
	7 ,,	2,4			
	8 ,,	1,6			
	9 ,,	1,6			
	10 ,,	1,6			
	11 ,,	1,6			
	12 Nacht	1,7			
18. April	1 ,,	2,4			
	2 ,,	3,0			
	3 ,,	3,8			
	4 ,,	3,5			
	5 ,,	3,3			
	6 früh	3,2	11,0		
	7 ,,	2,9			
	8 ,,	3,9	11,2	1,7	heiter.
	9 ,,	3,5	11,8	1,9	
	10 ,,	3,0	11,6	1,9	weisse Wol-
	11 ,,	2,3	11,5	1,8	ken.
	12 Mittag	2,5	11,5	1,8	
	1 ,,	2,5			
	2 ,,	2,7			
	3 ,,	2,4	11,6	1,8	
	4 ,,	2,5	11,5	1,7	trüb.
	5 ,,	2,3	11,5	1,7	
	6 Abend	2,3	11,5	1,7	
	7 ,,	2,1			
	8 ,,	2,1			
	9 ,,	2,1	11,2	1,6	
	10 ,,	2,1			
	11 ,,	2,1			
	12 Nacht	2,0			
19. April	1 ,,	2,1			
	2 ,,	2,3			
	3 ,,	2,5			
	4 ,,	2,7			
	5 ,,	2,6			
	6 früh	3,0	11,0		
	7 ,,	3,2			
	8 ,,	3,6	11,3	1,6	
	9 ,,	3,8	11,7	1,7	
	10 ,,	3,6	12,3	1,7	
	11 ,,	3,2			trüb.
	12 Mittag	2,8	12,0	1,6	
	1 ,,	3,1			
	2 ,,	3,0			
	3 ,,	2,7			
	4 ,,	2,5			
	5 ,,	2,5			heiter.
	6 Abend	2,5			
	7 ,,	2,4			
	8 ,,	2,4			
	9 ,,	2,5			
	10 ,,	2,0			

Tag.	Stunde.	Zuwachs Mill. am Bogen.	Temp. ⁰R. Luft.	Temp. ⁰R. psychr. Differenz.	Beleuchtung.
19. April	11 Abend	2,1			
	12 Nacht	2,5			
20. April	1 ,,	2,5			
	2 ,,	2,4			
	3 ,,	3,0			
	4 ,,				
	5 ,,				
	6 früh		11,8	1,6	

B. Dreistündige Werthe nach Tabelle A berechnet.

Tag.	Stunde von—bis	3stündige Zuwachse Mill. am Bogen.	Temp. ⁰R. für 3 Stunden.	$\frac{z}{t-10}$
16. April	9—12 Mittag	6,1	11,4	4,3
	12—3 ,,	6,2	11,7	3,6
	3—6 Abend	6,0	11,6	3,7
	6—9 ,,	5,6	11,4	4,0
	9—12 Nacht	4,5	11,2	3,7
17. April	12—3 ,,	7,3	11,1	6,6
	3—6 früh	8,2	11,0	8,2
	6—9 ,,	9,1	11,0	9,1
	9—12 Mittag	9,1	11,1	8,3
	12—3 ,,	6,6	11,3	5,1
	3—6 Abend	8,2	11,4	5,8
	6—9 ,,	5,6	11,3	4,3
	9—12 Nacht	4,9	11,2	4,1
18. April	12—3 ,,	8,7	11,1	7,9
	3—6 früh	10,0	11,0	10,0
	6—9 ,,	10,3	11,3	7,9
	9—12 Mittag	7,8	11,6	4,9
	12—3 ,,	7,6	11,6	4,8
	3—6 Abend	7,1	11,5	4,7
	6—9 ,,	6,3	11,3	4,8
	9—12 Nacht	6,2	11,2	5,2
19. April	12—3 ,,	6,9	11,1	6,3
	3—6 früh	8,3	11,0	8,3
	6—9 ,,	10,6	11,3	8,1
	9—12 Mittag	9,6	12,0	4,8
	12—3 ,,	8,8	12,2	4,0
	3—6 Abend	7,5	12,4	3,1
	6—9 ,,	7,3	12,2	3,3
	9—12 Nacht	6,6	12,1	3,1
20. April	12—3 ,,	7,9	12,0	4,0

15.

Dahlia variabilis.

Grüne Pflanze im Finstern. Beobachtung am Auxanometer; 12malige Vergrösserung der Zuwachse.

Ein am Südfenster erwachsener grüner Spross, dessen 2. Internodium 81 Mill., das 3. aber erst 27 Mill. lang war, wurde unter dem dritten Blattpaar in gewohnter Weise angekoppelt; mit dem Zinkrecipienten bedeckt, ebenso das trockene und nasse Thermometer in solche eingeschlossen und dann während der Beobachtungsdauer das Zimmer dunkel gehalten. — Das nasse Thermometer zeigte beständig 0,1—0,2° R weniger als das trockene. — Da es während der ganzen Beobachtungszeit regnete, so war das durch die Fensterschirme und den Recipienten zur Pflanze gelangende Licht schon Anfangs nicht sehr intensiv.

Tag.	Stunde.	Zuwachs pro Stunde in Mill. am Bogen.	Lufttemperatur °R. im Recipienten.	3stündige Zuwachse.
25. Juni	10 früh		15,1	
	11 ,,	5,0	15,0	
	12 Mittag	12,8	14,9	
	1 ,,	9,0		
	2 ,,	10,8		26,3
	3 ,,	6,5	14,8	
	4 ,,	7,4	14,7	
	5 ,,	8,0	14,7	23,4
	6 Abend	8,0	14,7	
	7 ,,	6,8		
	8 ,,	7,2		21,8
	9 ,,	7,8		
	10 ,,	6,8		
	11 ,,	8,0		24,4
	12 Nacht	9,6		
26. Juni	1 ,,	12,2		
	2 ,,	13,0		37,7
	3 ,,	12,5		
	4 ,,	11,5		
	5 ,,	11,0		33,3
	6 früh	10,8		
	7 ,,	10,3	13,9	
	8 ,,	9,5	13,8	29,1
	9 ,,	9,3	13,8	
	10 ,,	8,2	13,8	
	11 ,,	8,6	13,8	24,8
	12 Mittag	8,0	13,8	
	1 ,,	9,5		
	2 ,,	8,2	13,7	26,7
	3 ,,	9,0	13,6	
	4 ,,	9,8	13,6	
	5 ,,	9,8		30,8
	6 Abend	11,2	13,5	

Tag.	Stunde.	Zuwachs pro Stunde in Mill. am Bogen.	Lufttemperatur °R. im Recipienten.	3stündige Zuwachse.
26. Juni	7 Abend	11,2		
	8 ,,	12,5		37,0
	9 ,,	13,3		
	10 ,,	14,2		
	11 ,,	14,5		43,0
	12 Nacht	14,3		
27. Juni	7 früh		12,5°	

16.

Dahlia variabilis.

Grüner Spross im Finstern (wie bei Tabelle 15).

Tag.	Stunde.	Zuwachs pro Stunde in Mill. am Bogen.	Temp. °R. im Recipienten.	3stündige Zuwachse.
2. Juli	9 früh		15,2	
	10 ,,	3,0	15,3	
	11 ,,	5,8		12,3
	12 Mittag	3,5	15,6	
	1 ,,	3,5		
	2 ,,	3,5		10,6
	3 ,,	3,6	16,0	
	4 ,,	4,0		
	5 ,,	4,0	16,1	11,8
	6 Abend	3,8	16,1	
	7 ,,	4,8		
	8 ,,	5,5		16,8
	9 ,,	6,5		
	10 ,,	7,5		
	11 ,,	8,0		24,5
	12 Nacht	9,0		
3. Juli	1 ,,	10,0		
	2 ,,	11,5		34,7
	3 ,,	13,2		
	4 ,,	14,0		
	5 ,,	14,0		41,2
	6 früh	13,2		
	7 ,,	13,4	16,0	
	8 ,,	12,0		38,4
	9 ,,	13,0	16,5	
	10 ,,	13,0	16,7	
	11 ,,	12,4		38,4
	12 Mittag	13,0	16,9	
	1 ,,	12,5		
	2 ,,	13,4		38,9
	3 ,,	13,0	17,0	
	4 ,,	13,8		
	5 ,,	14,0	16,9	42,4
	6 Abend	14,6	16,8	

Tag.	Stunde.	Zuwachs pro Stunde in Mill. am Bogen	Lufttemperatur °R. im Recipienten.	3stündige Zuwachse.
3. Juli	7 Abend	neu eingestellt		
	8 ,,	17,5		50,8
	9 ,,	17,2		
	10 ,,	19,0		
	11 ,,	19,5		58,0
	12 Nacht	19,5		
4. Juli	1 ,,	20,1		
	2 ,,	20,0		61,1
	3 ,,	21,0		
	4 ,,	20,5		
	5 ,,	20,8		59,6
	6 früh	18,3		
	7 ,,	18,5	16,2	
	8 ,,	20,5	16,6	60,5
	9 ,,	21,5	16,7	
	10 ,,	19,5		
	11 ,,	22,0	17,0	61,5
	12 Mittag	20,0	17,1	
	1 ,,	20,0		
	2 ,,	22,0		64,0
	3 ,,	22,0	17,0	

IV. Ergebnisse der Beobachtungen.

1) Die schon im 1. Abschnitt als grosse Periode bezeichnete Thatsache, dass ein wachsender Pflanzentheil zunächst mit kleinen Zuwachsen beginnt, dann immer schneller wächst, ein Maximum der Wachsthumsgeschwindigkeit erreicht und dann immer langsamer wächst, bis endlich Stillstand eintritt, wird durch die Tabellen 1, 2, 3 sowie durch Tafel I und II erläutert. Tabelle I zeigt, wie an einem wachsenden Internodium jeder einzelne Abschnitt eine grosse Periode besitzt, wie die älteren Abschnitte bereits aufgehört haben zu wachsen oder sich in den letzten Phasen ihrer grossen Periode befinden, während die jüngeren erst zu wachsen beginnen; ferner, dass sich aus diesen grossen Perioden der einzelnen Querabschnitte, die grosse Periode des ganzen Internodiums summirt. — Tabelle 2 und Tafel I lässt die Beziehungen des Lichtes der Temperatur und der Bodenfeuchtigkeit zum Verlauf der grossen Curve erkennen: das im Licht gewachsene Internodium erreicht sein Maximum früher als das etiolirte im Finstern, die Ausgiebigkeit des Wachsthums ist in allen Phasen seiner Periode geringer als bei diesem, auch hört das Wachsthum früher auf. Die Vergleichung der Temperaturcurve mit der Zuwachscurve lässt erkennen, dass die grosse Periode von dem Verlauf der Temperaturschwankungen in hohem Grade unabhängig ist; das grüne Inter-

nodium erreicht hier sein Maximum vor, das etiolirte lange nach dem während dieser Zeit eingetretenen Temperaturmaximum; die grosse Periode befindet sich bei dem etiolirten Internodium noch in der aufsteigenden Phase, während die Temperatur stetig fällt, jene dagegen bleibt in der absteigenden Phase, während diese sich wieder hebt. Die starken Auszackungen der beiden grossen Curven sind wenigstens z. Th. Wirkungen des wiederholten Begiessens der Erde, wie die Vergleichung der Tabelle mit den Curven erkennen lässt. Die Methode der Beobachtung lässt jedoch nicht erkennen, inwieweit die Befeuchtung etwa eine Aufquellung des Bodens (die hier fehlerhafter Weise als Zuwachs auftreten würde) veranlasste; ich glaube jedoch, da die Erde immer ziemlich feucht blieb, im Hinblick auf das unter II Mitgetheilte, dass das Begiessen die Wasseraufnahme und den Turgor, in Folge dessen die Zuwachse gesteigert hat. — Tabelle 3 und Tafel II lassen ebenfalls die grosse Periode wachsender Internodien deutlich genug erkennen; zugleich bemerkt man, wie die durch die täglichen Temperaturschwankungen veranlassten Beschleunigungen und Retardationen des Wachsthums als Auszackungen der grossen Curve sich geltend machen; und ausserdem zeigt der Spross Nr. I (Tabelle 3), dass drei gleichzeitig wachsende Internodien zusammen eine sehr regelmässig verlaufende grosse Curve bilden, die sich von der eines einzelnen Internodiums (No. II) in der Form kaum unterscheidet.

Ferner ist noch auf die grosse Periode in Tabelle 6 hinzuweisen, die in C nach Tageswerthen dargestellt und so übersichtlicher gemacht ist. Tabelle 6 C zeigt in der Columne z diese Tageszuwachse unmittelbar; dabei tritt eine Unregelmässigkeit darin auf, dass während der absteigenden Phase am 4. April eine vorübergehende Wachsthumszunahme stattfindet. Dass diess in irgend einer Weise von der Temperaturschwankung abhängt, zeigt die Vergleichung der folgenden Columnen, wo die Zuwachse durch die herrschende Temperatur t, dann durch $t-4$, endlich durch $t-6$ dividirt sind; je höher man den Nullpunkt der zur Division benutzten Temperatur nimmt, desto mehr wird die Ungleichförmigkeit im Sinken der grossen Curve ausgeglichen, was besonders dann auffällt, wenn man diese in den durch die Tabelle C gegebenen vier Formen graphisch darstellt (über dieses Verfahren vergl. weiter unten). — Endlich giebt Tabelle 9 den Verlauf der grossen Periode bei nahezu constanter Temperatur für ganze Tage und zugleich die Schwankungen der Zuwachse am Vormittag, Nachmittag und in der Nacht. Obgleich hier zufällig das Steigen und Fallen der Temperatur mit dem Steigen und Fallen der Zuwachse zusammenfällt, zeigt doch die Betrachtung der Tagesmittel ohne Weiteres, dass diess nicht die Ursache der grossen Curve ist; man beachte, dass am 28. April der Zuwachs 22,8 Mill. bei 14,6° C., am 1. Mai der Zuwachs 32,8 Mill. bei 14,5° C., am 4. Mai der Zuwachs 18,9 bei 14,°7 stattfand.

2) Einfluss der veränderlichen Temperatur auf den stünd-

lichen und täglichen Gang des Wachsthums. Die zur Feststellung dieses Einflusses unternommenen Beobachtungen wurden immer an etiolirten Pflanzen im Finstern gemacht, die zu diesem Zweck im Finstern erwachsen waren, um so die Störungen zu vermeiden, die möglicherweise daraus entstehen, dass eine am Licht erwachsene Pflanze erst nach und nach in den Zustand übergeht, welcher dem Lichtmangel entspricht.

Die Resultate sind auffallend verschieden, je nachdem die Temperatur rasch und kräftig schwankt oder sehr langsam und wenig schwankt; im ersten Fall folgt die Zuwachscurve der Temperaturcurve so, dass sie diese gewissermaassen nachbildet, im zweiten Fall dagegen machen sich andere Einflüsse geltend, welche den Effect der sehr geringen Temperaturschwankungen überwiegen.

Unter raschen und starken Temperaturschwankungen verstehe ich hier jedoch nur, dass die Lufttemperatur in der Nähe der Pflanze stündlich um einen oder einige ganze Grade (C. oder R.) wechselt; viel stärkere Schwankungen, etwa um 10° (C. oder R.) und mehr in der Stunde mochte ich desshalb nicht anwenden, weil es dann ungewiss ist, ob dieselben auch rasch genug in die Pflanze selbst übergehen, was bei der geringen Leitungsfähigkeit des Zellgewebes sehr fraglich und nicht leicht zu controliren ist. Unter sehr schwachen und langsamen Temperaturschwankungen verstehe ich solche, die in einer Stunde nur ein oder wenige Zehntel eines Grades (R. oder C.) betragen.

Die Betrachtung der Curven auf Tafel III und IV zeigt deutlich, wie bei raschem und starkem Auf- und Abschwenken der Temperatur die Curve der Zuwachse ebenfalls und gleichmässig auf- und absteigt. Temperatur- und Wachsthumscurve sind einander sehr ähnlich, ohne jedoch vollständig parallel zu laufen, was zumal auf Tafel III nicht der Fall ist. Ein ähnliches Verhalten tritt übrigens auch bei geringeren Temperaturschwankungen auf Tafel II hervor, wo jedoch noch deutlich zu bemerken ist, wie bei der auf- und absteigenden Phase der grossen Periode die Temperaturschwankung nur geringen Effect auf das Wachsthum übt, selbst von den inneren Wachsthumsursachen überwogen wird, während zur Zeit des Maximums der grossen Periode, also zur Zeit der grössten Wüchsigkeit der Pflanze eine grössere Aehnlichkeit der bedingenden und der bedingten Curve hervortritt.

Es zeigt sich also, dass zur Zeit der stärkeren Wachsthumsfähigkeit der Pflanze (in der Mitte der grossen Periode) Temperaturschwankungen von einem bis einigen Graden in der Stunde das Wachsthum mächtig verändern, und zwar so, dass dem Steigen der Temperatur ein Steigen, dem Fallen der Temperatur ein Fallen der Zuwachse entspricht. Jedenfalls erleidet hierdurch die Angabe Köppen's, wonach Temperaturschwankungen an sich das Wachsthum verlangsamen, eine Einschränkung; denn dieser Satz im weiteren Sinne genommen, würde verlangen, dass einer Tem-

peratursteigerung ein gleichzeitiges Fallen der Zuwachscurve entspreche, was nicht der Fall ist. Ich möchte jedoch noch nicht behaupten, dass Köppen's Angabe desshalb überhaupt unrichtig sei; denn es wäre möglich, dass der Gesammtzuwachs meiner Pflanzen während der Versuchszeiten grösser gewesen wäre, wenn die mittlere Temperatur, die sich aus den Schwankungen ergiebt, geherrscht hätte, wofür es mir an einem Vergleichsobject fehlt. Weitere Versuche mögen darüber entscheiden. Mir genügt es hier, gezeigt zu haben, dass innerhalb gewisser Grenzen die Wachsthumscurve mit der Temperaturcurve gleichsinnig steigt und fällt.

Dagegen ist aus den Tabellen 6, 7, 8, 9 zu ersehen, besonders wenn man die Zahlen auf Coordinaten überträgt, dass Temperaturschwankungen von einem oder wenigen Zehntelgraden in einer Stunde oder gar in 3 Stunden keinen merklichen Einfluss auf den Gang des Wachsthums üben, dass dann offenbar innere Ursachen und sehr schwache äussere Einwirkungen, auf die ich zurückkomme, die Form der Wachsthumscurve bestimmen.

3) Wirkung des periodischen Wechsels von Tageslicht und nächtlicher Dunkelheit auf den täglichen Gang des Wachsthums. Die im April, Mai, Juni gemachten Beobachtungen, welche auf den Tabellen 10 bis 14 verzeichnet sind, noch mehr die danach entworfenen Curven auf Tafel V, VI, VII zeigen, dass im Allgemeinen die Wachsthumscurven vom Abend bis Morgen steigen, auch wenn die Temperatur in der Nacht um einen Grad oder mehr fällt; dass sie nach Sonnenaufgang plötzlich und rasch fallen, obgleich die Temperatur sich um mehrere Zehntel Grade hebt; dieses Fallen kann wie auf Tafel V und VI bis zum Abend fortdauern, so dass täglich eine einfache Periode derart hervortritt, dass vom Abend bis Morgen Steigerung, vom Morgen bis Abend Verminderung der Zuwachse herrscht; nicht selten, zumal dann, wenn die Temperatur am Tage um einige Grade steigt, tritt jedoch um Mittag oder Nachmittag eine vorübergehende Zunahme der Wachsthumsgeschwindigkeit auf, die indessen den Eintritt des abendlichen Minimums nicht hindert. Durch ein Verfahren, dem ich zunächst nur den Werth eines empirischen Kunstgriffes beilege, lässt sich darthun, dass die am Tage eintretende Steigerung in der That nur eine Wirkung der höheren Temperatur ist, während die nächtliche Steigerung und das Sinken am Morgen oder während des ganzen Tages von einer anderen Ursache bewirkt wird. Nennt man nämlich die beobachteten Temperaturen t und dividirt man die dreistündigen Zuwachse sämmtlich durch die Werthe $t-n$, wobei n von Null bis zu einer Zahl steigt, die nur wenig unterhalb des kleinsten t liegt, so zeigt sich, dass die am Tage eingetretene Hebung um so vollständiger verschwindet, je näher n dem kleinsten Werthe von t rückt, ohne doch mit ihm zusammenzufallen; die Tabellen 11 B, 12 B, 14 B liefern einige Proben dieses Verfahrens und seines Erfolges. Tabelle 13 B zeigt jedoch, dass dieses Verfahren nicht

immer genügt, um die Erhebung der Zuwachscurve am Tage ganz zu beseitigen; vollständiger wird diess in diesem Falle durch Division der Zuwachse mit $(t-10)^2$ erreicht. Jedenfalls zeigt dieses Verfahren, das, wie oben bereits erwähnt, auch zur Rectification der grossen Curve benutzt werden kann, dass solche Zacken der Zuwachscurve, welche sich durch dasselbe beseitigen lassen, Functionen der Temperatur sind, und zugleich wird daraus ersichtlich, dass die Beziehung der Temperatur zum Wachsthum eine sehr merkwürdige und complicirte sein muss.

Der Erfolg der Division der Zuwachse durch die Werthe $t-n$ oder auch $(t-n)^2$ wird auf den Tafeln an den mit $\frac{z}{t-10}$ . . . . bezeichneten Curven besonders anschaulich, auch darin, dass das Maximum der corrigirten täglichen Zuwachsperiode öfter auf eine frühere Morgenstunde fällt, als das unmittelbar beobachtete Zuwachsmaximum, wie auf Tafel VI; dieser Erfolg entspricht nämlich vollkommen der Deutung, welche man der täglichen Periode des Wachsthums einer im Licht vegetirenden Pflanze geben muss.

Das Steigen der Zuwachscurve vom Abend bis zum Morgen, ebenso wie das plötzliche Fallen derselben nach Sonnenaufgang und bis zum Abend kann kaum anders als dahin gedeutet werden, dass sowohl die Beschleunigung, welche das Wachsthum durch die Dunkelheit erfährt, als auch die Retardation, die das Licht bewirkt (eine Thatsache, die durch das Wachsthum gleichartiger Pflanzen im Finstern und im Licht hinreichend sicher gestellt ist), nicht plötzlich eintreten, sondern nach und nach; dass die am Tage durch das Licht beeinflusste Pflanze mit Eintritt der Nacht nicht sofort den höchstmöglichen Zuwachs erreicht, den sie im Dunkeln haben kann, sondern erst nach und nach; der durch das Licht inducirte Zustand langsameren Wachsthums braucht längere Zeit, um in den der Dunkelheit entsprechenden Zustand schnelleren Wachsthums überzugehen, was sich eben in dem beständigen Steigen der Zuwachscurve vom Abend bis zum Morgen ausspricht; ebenso kann das Fallen der Zuwachscurve vom Morgen bis zum Abend einfach darauf zurückgeführt werden, dass der Zustand grosser Wüchsigkeit, den die Pflanze in der Nacht erreicht hat, unter dem Einfluss des Lichts nur nach und nach einem neuen Zustande weicht, der dem Wachsthum im Licht entspricht; obgleich die bis Mittag zunehmende Lichtintensität gewiss mit dazu beiträgt, das Sinken der Zuwachse bis Mittag zu begünstigen, ist das weitere Sinken am Nachmittag, also bei abnehmender Lichtstärke doch ein Beweis, dass die blosse Dauer der Beleuchtung in dem angegebenen Sinne wirkt. Wenn das nächtliche Steigen der Zuwachscurve schon vor Sonnenuntergang beginnt, so wird das auf die schon um diese Zeit eintretende beträchtliche Lichtabnahme zurückzuführen sein. Die tägliche Periode des Wachsthums einer dem Wechsel von Tag und Nacht bei geringer Temperaturschwankung

unterliegenden Pflanze findet so ihre genügende und sehr einfache Erklärung. Ob diese Periode auch im Freien unter dem Einfluss einer starken Erhebung der Temperatur am Mittag und einer beträchtlichen Erniedrigung derselben am Morgen noch zu beobachten ist, oder nicht vielmehr ausgeglichen, selbst in eine entgegengesetzte umgewandelt wird, mag einstweilen unentschieden bleiben.

Die Kenntniss der durch das Licht bewirkten täglichen Wachsthumsperiode giebt uns nun auch den Schlüssel zur Erklärung des Verhaltens der Pflanzen im finstern Zimmer oder unter einem Blechrecipienten bei sehr geringer Temperaturschwankung, worauf schon oben hingewiesen wurde. Die Tabellen 6, 7, 8 zeigen, dass die Pflanzen unter diesen Umständen vom Morgen bis gegen Mittag oder selbst bis zum Abend immer langsamer wachsen, während die Zuwachse bis zum Morgen sich, wenn auch langsam und unbeträchtlich, vergrössern, wenn auch die schwachen Schwankungen der Temperaturcurve den gegensinnigen Verlauf nehmen. Die Erscheinung kann also unmöglich der Temperatur zugeschrieben werden, und ich glaube, es bleibt nichts anderes übrig, als sie dem ausserordentlich geringen Helligkeitsgrade zuzuschreiben, der Tags in dem verdunkelten Zimmer oder innerhalb des mässig hellen Zimmers in einem Zinkrecipienten herrscht. So wenig glaublich diese Annahme erscheint, wenn man beachtet, dass es sich hier um eine Helligkeit handelt, die das Auge selbst nach einigen Minuten Verweilens in dem dunkeln Raum kaum wahrnimmt, findet sie doch, abgesehen von der Geringfügigkeit der Zuwachs-Schwankungen selbst, ihre Bestätigung durch Tabelle 8; dort tritt nämlich in der ersten und letzten Beobachtungsreihe A und C, wo die Pflanze innerhalb des mässig erhellten Zimmers nur unter einem Blechrecipienten vegetirte, die Periodicität noch deutlich genug hervor, zumal wenn man den gegensinnigen Verlauf der Temperaturcurve beachtet; bei der zwischen beiden liegenden Beobachtungsreihe B dagegen, wo die Pflanze im finsteren Zimmer unter dem undurchsichtigen Recipienten stand, wird die tägliche Periode fast unmerklich, die Zuwachscurve folgt den stärkeren Temperaturschwankungen. Viel deutlicher als in den Tabellen tritt dieses Verhalten in graphischer Darstellung derselben hervor, die ich hier jedoch, um die Zahl der Tafeln nicht unmässig zu häufen, dem Leser selbst überlassen muss. Eine weitere Bestätigung dafür, dass die geringe Helligkeit in dem dunkeln Raume die Tagesperiode veranlasst, möchte ich auch darin finden, dass bei Division der Zuwachse durch t oder $t—n$ die an sich schwach angedeutete Periode eine Form und einen Ausdruck gewinnt, als ob die Pflanze in einem mässig hellen Zimmer vegetirte, wie beispielsweise aus Tabelle 6 B zu entnehmen ist.

Bei den Tabellen 6 bis 8 handelt es sich um etiolirte Pflanzen im Finstern; dass auch grüne Pflanzen in tiefer, wenn auch nicht absoluter Finsterniss (unter einem Blechrecipienten im mässig hellen diffusen Tages-

licht) noch die entsprechend geschwächte Tagesperiode erkennen lassen, ist aus unseren Tabellen 15 und 16 zu entnehmen.

Aus meinen im Jahre 1870 gemachten Beobachtungen, wo grüne, am Licht erwachsene Pflanzen, ebenfalls unter verdunkelnden Umhüllungen beobachtet wurden, die aber weniger gut schlossen, als meine Zinkrecipienten von 1871, glaubte ich schliessen zu müssen[1]), dass die durch das Licht inducirte Tagesperiode auch unabhängig von demselben im Finstern noch einige Tage fortdauere, eine Ansicht, die ich nach dem Mitgetheilten jedoch nicht mehr festhalten möchte.

4) Uebereinstimmung der durch das Licht inducirten täglichen Wachsthumsperiode mit der Periodicität der Gewebespannung und der Blattbewegungen. Kraus[2]) und Millardet[3]) haben durch zahlreiche Messungen bewiesen, dass die Gewebespannung wachsender Pflanzentheile unter dem Einfluss von Tageslicht und Nachtdunkelheit periodische Aenderungen ihrer Intensitäten zeigt, die der Zeit nach mit den Stellungsänderungen periodisch beweglicher Blätter so zusammenfallen, dass diese Bewegungen selbst als Folgen der Aenderungen der Gewebespannung aufgefasst werden können. Ich wähle der Kürze wegen diese Ausdrucksweise, da nach Millardet (p. 30) die Coincidenz beider insofern nicht ganz zutrifft, als das Hauptminimum der Gewebespannung im Stamm um Mittag, das in den Blättern gegen Abend oder Anfang der Nacht eintritt, die Coincidenz würde vielleicht vollständiger sein, wenn man der Temperatur und der Transpiration genauer, als es geschehen ist, Rechnung trüge, wodurch die „secundären Oscillationen" gewiss mehr zurücktreten würden. Beurtheilt man nun dementsprechend die Aenderungen der Gewebespannung nach den Stellungsänderungen periodisch beweglicher Blätter, für welche Millardet sehr zahlreiche Beobachtungen an Mimosa pudica machte, so überrascht die ausserordentliche Uebereinstimmung der täglichen Periode der Spannungsänderung mit der des Wachsthums, wenn beide Erscheinungen unter dem Einfluss des Wechsels von Tageslicht und Nachtdunkelheit stattfinden. Millardet's Spannungscurven (l. c. Pl. I, II, III) stimmen in ihrem Verlauf ganz auffallend mit dem der Zuwachscurven auf unseren Tafeln V, VI, VII überein; auch sie steigen vom Abend bis zum frühen Morgen, sinken dann plötzlich und erreichen ihren tiefsten Stand am Abend; auch sie steigen am Mittag oder Nachmittag ein- bis zweimal unbeträchtlich empor (Millardet's secundäre Maxima und Minima)[4]), was den ähnlichen Erhebungen der Wachsthums-

---

1) Verhandl. der physik. medic. Gesellsch. in Würzburg, 4. Febr. 1871.

2) Kraus: botan. Zeitg. 1867 p. 122 und p. 141; ferner Ergänzung seiner Angaben betreffs der nächtlichen Spannungsänderungen in Millardet's cit. Schrift p. 60 unten.

3) Millardet: Nouvelles recherches sur la periodicité de la tension: étude sur les mouvements périod. et paraton. de la sensitive; Strassburg 1869 p. 30.

4) Wenn das grosse Maximum und das kleinste Minimum von Millardet's Spannungs-

curven entspricht, die ich als Temperaturwirkungen nachgewiesen habe, was die secundären Maxima und Minima der Spannungscurve wahrscheinlich auch sein werden, wenigstens stimmen MILLARDET's Temperaturangaben mit dieser Annahme sehr wohl überein.

Dass die tägliche Periode, welche sich in der Steigerung der Gewebespannung, vom Abend bis zum Morgen und im Sinken derselben bis zum Abend ausspricht, gleich der entsprechenden der Zuwachse eine Function des Lichts ist, folgt schon aus dem Umstand, dass ihre beiden Wendepunkte, das Maximum und Minimum mit dem Eintreten und Schwinden der Tageshelligkeit zusammenfallen, noch mehr aber aus ihrem Verschwinden in anhaltender Dunkelheit, wie bereits KRAUS (a. a. O. p. 125) bewiesen hat.

Die Uebereinstimmung der Curven der Gewebespannung und des Wachsthums geht aber noch weiter; die oben erwähnten stossweissen Aenderungen des Wachsthums in kurzen Zeiträumen, welche ein beständiges Auf- und Abschwanken der Wachsthumscurve veranlassen, finden ihr Analogon auch im Verhalten der Gewebespannung; schon KRAUS fand (a. a. O. p. 125), dass die letztere im Finstern mehr oder weniger regelmässige Oscillationen in sehr kurzen (etwa zweistündigen) Zeitintervallen erkennen lässt; vermöge des Zusammenhangs der Gewebespannung mit den periodischen Blattbewegungen spricht sich diess auch in den fortwährenden Stellungsänderungen der beweglichen Blätter aus, die sowohl unter dem Einfluss des Lichts[1]) als auch nachher längere Zeit im Finstern so rasch stattfinden, dass sie selbst von Viertel- zu Viertelstunde notirt werden können.

Grade diese beständigen Schwankungen der Gewebespannung waren es, die mich zuerst auf den Gedanken brachten, Mittel zur Bestimmung der Zuwachse in sehr kurzen Zeiträumen aufzusuchen, indem ich die Vermuthung hegte, dass den Schwankungen der Gewebespannung auch überall solche des Wachsthums entsprechen würden, eine Vermuthung, die sich, wie man sieht, in ganz überraschender Weise bestätigt hat.

Die Gewebespannung wird durch ungleiche Wachsthumsgeschwindigkeit und durch ungleiche physikalische und physiologische Eigenschaften der verschiedenen Gewebeschichten eines Organs hervorgerufen, anderseits wird auch die Mechanik des Wachsthums durch die bereits hervorgerufene Gewebespannung nothwendig mit bedingt; es ist daher zu erwarten, dass Erscheinungen der Spannungsänderungen auch gewöhnlich oder immer auf Aenderungen des Wachsthums und umgekehrt hindeuten, dass äussere

---

curven nicht bis auf die Stunde mit denen unserer Zuwachscurven coïncidiren, so ist zu bemerken, dass auch die letzteren unter sich nicht immer in dieser Hinsicht übereinstimmen, was nicht allein von der Tageslänge abhängt, sondern auch von der Stellung der Pflanze im Zimmer, der Lage der Fenster und anderen Nebenumständen.

1) MILLARDET a. a. O. Planche II, III, IV und SACHS: Flora 1863. p. 468.

Agentien, wie Wärme, Licht und Feuchtigkeit der Umgebung, auf Wachsthum und Gewebespannung gleichsinnig und gleichzeitig einwirken werden. Die genaue Erforschung dieser Verhältnisse aber hat nicht nur insofern Werth, als sie den Schlüssel zur Erklärung mancher specieller Lebenserscheinungen der Pflanzen auffinden lehrt, sondern noch mehr insofern, als dadurch die Grundlagen einer mechanischen Theorie des Wachsthums, dieser hervorragendsten und allgemeinsten Lebenserscheinung, gewonnen werden.

V. Literatur.

Die ziemlich ausgedehnte und in mancher Beziehung reichhaltige Literatur unseres Gegenstandes ist insofern einigermaassen unerfreulich, als bisher kein Beobachter die hier einschlägigen Fragen sich selbst klar gemacht hat; obwohl man stillschweigend oder ausdrücklich anerkannte, dass das Wachsthum von verschiedenen Bedingungen abhängt, beobachtete man doch immer unter Umständen, wo sämmtliche Wachsthumsbedingungen gleichzeitig grossen Schwankungen unterlagen, so dass es unmöglich war, zu entscheiden, ob und inwieweit die beobachteten Schwankungen des Wachsthums den Veränderungen der Temperatur, des Lichts, der Feuchtigkeit oder inneren Ursachen zuzuschreiben seien; von diesem Vorwurf sind selbst die so sorgfältig interpretirten Beobachtungen Harting's und die mühsamen Messungen Caspary's nicht frei zu sprechen. Offenbar muss die Erforschung einer Erscheinung, die von n Bedingungen abhängt, davon ausgehen, womöglich $n-1$ dieser Bedingungen constant zu machen und nur die eine, deren Effect geprüft werden soll, variiren zu lassen, und offenbar muss nach und nach jede der n Bedingungen in einer besonderen Beobachtungsreihe als variable auftreten, während sie in den anderen constant bleibt. Dieses allein zum Ziel führende Verfahren, welches ich zuerst bei meinen Beobachtungen über die Keimungstemperaturen einschlug [1]), war schon von selbst dadurch ausgeschlossen, dass man die Pflanzen im Freien, oder im Gewächshause oder in einem gewöhnlichen Wohnzimmer beobachtete, wo Temperatur, Licht und Feuchtigkeit mannigfach combinirten Schwankungen unterliegen. Je nachdem zufällig die eine oder die andere der Wachsthumsbedingungen alle anderen überwog, konnte man bald der einen bald der anderen eine ganz besondere Bedeutung für das Wachsthum und seine tägliche Periode zuschreiben, wenn man nicht beachtete, dass in einem anderen Falle wieder eine andere Ursache prävaliren könne. So enthält denn die Literatur, in dem Zustande, wie ich sie vorfinde, nicht eine Reihe feststehender wissenschaftlicher Sätze, auf denen sich weiter

1) Sachs: Physiol. Unters. über die Abhängigkeit der Keimung von der Temperatur in Pringsh. Jahrb. für wiss. Bot. 1860. Bd. II. p. 338.

bauen liesse, sondern vielmehr ein massenhaft angehäuftes Rohmaterial von Beobachtungen, welche erst kritisirt und gedeutet werden müssen, um Resultate zu ergeben. Diess hier bis in's Einzelne durchzuführen wäre indessen unzweckmässig und unnöthig, da man mit demselben Aufwand an Zeit und Mühe neue Beobachtungen nach dem richtigen Prinzip anstellen kann. Wenn ich im Folgenden eine gedrängte Uebersicht der Literatur gebe, so geschieht es zum Theil, um zu zeigen, dass ich die Bemühungen meiner Vorgänger sorgfältig geprüft habe, vorwiegend aber möchte ich darthun, dass die verschiedenen Angaben derselben einander nur scheinbar widersprechen, und dass man, von den unter I entwickelten Gesichtspunkten ausgehend und auf Grund der unter IV gewonnenen Resultate, den Beobachtungen mehrfach andere Deutungen geben kann und muss, als es durch die Beobachter selbst geschehen ist. Ich werde zunächst jedoch nur diejenigen Arbeiten berücksichtigen, welche neben den Messungen an Pflanzen noch die Temperatur und andere Bedingungen berücksichtigen, die anderen, die selbst dieser geringen Anforderung nicht entsprechen, mögen am Schlusse noch erwähnt werden.

Wie schon oben erwähnt, haben es die Beobachter versäumt, ihre Zahlenreihen graphisch darzustellen; ich habe diess, um ein klares Bild ihrer Angaben zu gewinnen, nachgeholt, aus tausenden von Zahlen die Curven der Zuwachse und Temperaturen, zuweilen auch die der Luftfeuchtigkeit verzeichnet; meine Kritik stützt sich vorwiegend auf den Verlauf dieser Curven.

Christoph Jacob Trew (1727) [1]) dürfte wohl der Erste gewesen sein, der es unternahm, die Längenzuwachse in gleichen Zeiten mit den Temperaturen der Luft, dem Zustand des Wetters, besonders der Beleuchtung und der Barometerstände zu vergleichen; er wurde zu seinen Beobachtungen, wie die Mehrzahl seiner Nachfolger, durch die Entwickelung eines Blüthenstammes von Agave americana veranlasst, den er täglich leider nur einmal maass, obgleich er die Temperaturen und sonstigen Umstände täglich dreimal verzeichnete (5 Uhr Morgens, 12 Mittag, 9 Abend). So geben also seine Beobachtungen keine Auskunft über den Gang des Wachsthums innerhalb eines Tages,* wohl aber über den Verlauf desselben im Grossen und Ganzen vom 9. Mai bis 19. Juni. Trew überlässt es dem Leser, aus seinen Tabellen Resultate zu gewinnen und Caspary (Flora 1856. p. 163) behauptet, „es lasse sich aus ihnen nicht einmal ein Parallelismus zwischen Wachsthum und Wärme erkennen"; das würde nun an und für sich nur beweisen, dass andere Ursachen neben der Temperatur vorwalteten, die Curvenzeichnung aber zeigt, dass Caspary's Folgerung unrichtig ist, denn die Curve der täglichen Zuwachse steigt und fällt neunmal gleichzeitig mit dem Steigen und Fallen der Temperaturcurve, wenn auch die

1) Chr. J. Trew in Fränkische Acta erudita et curiosa 1727 p. 381.

kleineren Zacken beider Curven mehrfach nicht übereinstimmen; auch die zweitägigen Zuwachse zeigen eine ähnliche Abhängigkeit von der Temperatur in vier Perioden und es ist daher gewiss, dass in diesem Falle der Verlauf des Wachsthums durch die Temperaturschwankungen ganz vorwiegend bestimmt wurde, dass die anderen Wachsthumsursachen davon überwogen wurden. Nach den von Trew gemachten Temperaturangaben[1]) lässt sich zwar die Form der Temperaturcurve bestimmen, nicht aber die absolute Höhe der einzelnen Temperaturen nach unseren jetzigen Thermometern beurtheilen; doch ist es wahrscheinlich, dass die Schwankungen, in Graden nach Celsius oder Réaumur ausgedrückt, sich als sehr beträchtliche herausstellen würden, und daraus erklärt sich leicht, dass die Wachsthumscurve der Temperaturcurve ziemlich genau in ihren grossen Schwingungen folgt, obgleich alle anderen Bedingungen ebenfalls sehr variabel waren; ebenso dürfte es der Grösse der Temperaturschwankungen zuzuschreiben sein, dass selbst die grosse Periode des Wachsthums nur undeutlich zu erkennen ist.

Viel jünger, als die Beobachtungen unseres Landsmannes Trew, sind die des Franzosen Ventenat, nämlich von 1793; mir war es unmöglich, das Original[2]) zu vergleichen; Caspary, der es offenbar vor sich hatte, sagt (Flora 1856 p. 161): „Meyen giebt an, dass schon Ventenat 1793 am Blüthenschaft von Fourcroya gigantea beobachtet habe, dass er bei Tage schneller wachse als des Nachts. Diess ist ein Irrthum. Ventenat hat nach der l. c. mitgetheilten Beobachtungstafel den Schaft nur alle 24, 48 oder 72 Stunden gemessen, woraus sich die Angabe Meyen's nicht folgern lässt; auch erwähnt Ventenat l. c. das von Meyen angegebene Resultat sonst nicht, leitet überhaupt aus seinen Messungen des Schaftes, mit denen er Thermometerbeobachtungen verbunden hatte, kein Resultat ab."

Die ersten Beobachtungen über die täglichen Schwankungen des Wachsthums sind demnach die von Meyer 1827 und Mulder 1829.

Ernst Meyer[3]) liess im September 1827 den Blüthenschaft von Amaryllis Belladonna, der sich sehr rasch verlängert, Morgens um 6 Uhr,

1) Trew benutzte ein Thermometrum florentinum, an welchem der Stand ober- und unterhalb eines „punctum temperati" in positiven und negativen Werthen nach Zollen und Linien abgelesen wurde; wo dieser Punkt mittlerer Wärme lag, ist nicht zu bestimmen, für unseren Zweck aber auch gleichgültig, da es nur auf die Schwankungen der Temperatur, nicht auf ihre absoluten Werthe ankommt; zur Vergleichung mit der Wachsthumscurve berechnete ich die täglichen Mittel aus Trew's Angaben. — Ueber das Thermometrum florentinum vergl. auch Gehler's physik. Wörterbuch IX. p. 857.

2) Bullet. soc. philom. 1795. I. p. 65.

3) E. Meyer: „Beob. über Pflanzenwachsthum in Bezug auf die versch. Tageszeiten" in den Verhandl. des Vereins zur Beförd. des Gartenbaues in den k. preuss. Staaten. Berlin Bd. V. 1829. p. 110. — Caspary nennt diese Arbeit (Flora 1856. p. 162)

Mittags um 12 Uhr, Abends 6 Uhr messen und zugleich den Thermometerstand in dem Gewächshaus, worin die Pflanze stand, beobachten. ,,Es ergiebt sich, sagt er, dass die Pflanze von 6 Uhr Morgens bis 6 Uhr Abends, aber bei erhöhter Einwirkung von Licht und Wärme, fast noch einmal so rasch wuchs, als von Abends 6 Uhr bis Morgens 6 Uhr. Der Einfluss der Wärme auf das schnellere Wachsthum am Tage scheint sich daraus zu ergeben, dass die Zunahme bei geringerer Wärme geringer war, bei wiederum vermehrter Wärme beträchtlicher.'' Fast ebenso naiv, wie das Unternehmen, dergleichen beobachten zu *lassen*, ist die Bemerkung: ,,Welcher Antheil aber der Einwirkung des Lichts gebühre, liess sich nicht ausmitteln, weil eine Entziehung desselben nicht nur die Wärme vermindert, sondern auch der Gesundheit der Pflanze geschadet und mithin den ganzen Versuch unsicher gemacht haben würde.'' — Dass trotz des Wechsels von Tageslicht und Nachtdunkelheit die Temperatur doch den Ausschlag gab, und eine Verminderung des Wachsthums nicht einmal am Vormittag aufkommen liess, ist leicht erklärlich, wenn man in den Tabellen sieht, dass die Temperatur Morgens zwischen 9 und 14° R., Mittags zwischen 12 und 22°, Abends zwischen 14—18° stand, dass die Schwankung vom Morgen bis Mittag meist 8—9° R. betrug.

Ausführlicher, aber nicht viel besser sind E. Meyer's Beobachtungen im März 1829 an 12 Keimpflanzen von Weizen und Gerste, die er in Töpfen im Wohnzimmer cultivirte. Die Temperatur des Zimmers, neben den Pflanzen, am Fenster gemessen, sank Morgens niemals unter 13° R., stieg aber durch Heizung des Ofens schon um 8 Uhr früh auf 14—16° R., war von 10 Uhr früh bis 6 Uhr Abends 16—17,5° R. (oder mehr), um bis 10 Uhr Abend bis auf c. 14,7 oder 15,7 zu sinken. ,,Das Licht wirkte durch die grossen Fensterscheiben fast eben so stark auf die eingeschlossenen Pflanzen, als ob sie im Freien gestanden hätten.'' Die Erde wurde mässig feucht gehalten; gemessen wurde in zweistündigen Intervallen von 8 Uhr früh bis Abends 10 Uhr, mit dem Zollstab von der Oberfläche der Erde bis zur Spitze des jedesmal jüngsten, sich entwickelnden Blattes, so dass also in der Zahlenreihe Messungen verschiedener Blätter in einander verwebt sind. [2]) Die Tabellirung der Beobachtungen ist wenig übersichtlich und nur mit grossem Zeitverlust gelingt es, sich selbst ein Urtheil über

---

die spätere der beiden von Meyer und giebt den Jahrgang 1837 der gen. Zeitschr. dafür an, obgleich Bd. V, p. 110 richtig cit. ist; es fällt diess umsomehr auf, als Meyer selbst in seiner anderen Arbeit gleich Eingangs auf diese Beobachtungen an Amaryllis hinweist.

1) E. Meyer: ,,Ueber das periodische tägliche Wachsthum einiger Getreidearten''; Linnaea 1829. p. 98.

2) Es wäre allerdings möglich, dass die Zuwachse consecutiver Blätter ähnlich in einander greifen, wie die der Internodien eines Stengels (s. unter I), worüber indess noch nichts bekannt ist.

diese zu bilden, da der Verfasser in der Originaltabelle nicht einmal die Zuwachse, sondern nur die Längen der Pflanzen in Duodecimalmaass angiebt, aus denen man jene erst berechnen liess. Meyer selbst sagt p. 108: „Durchgängig finden wir das Wachsthum von 8 Uhr Vormittags bis 8 Uhr Nachmittags grösser, als in der anderen, nächtlichen Hälfte des Tages. Durchgängig finden wir es gleichfalls grösser in den 6 Stunden von 8 Uhr Vormittags bis 2 Uhr Nachmittags, als in den 6 folgenden Stunden. Bei jeder Pflanze bemerken wir zwei Beschleunigungen und zwei Verminderungen des täglichen Wachsthums; die erste Beschleunigung fast bei allen Pflanzen zwischen 8 und 10 Uhr Vormittags, die zweite von längerer Dauer zwischen 12 und 4 Uhr Nachmittag.“ Die weiteren Interpretationsversuche Meyer's sind unklar und zeugen von dem geringen Geschick für derartige Dinge, das am Anfang dieses Jahrhunderts bei den Botanikern leider so häufig war. Ich habe nach seinen Haupttabellen die Temperatur- und Wachsthumscurven für die Pflanzen *a*, *b* und *g* construirt, und finde, dass beide Curven in ihren Hauptschwingungen gleichsinnig verlaufen, nur ist das Steigen und Fallen der Temperaturcurve vom Morgen über Mittag bis zum Abend und frühen Morgen ein ziemlich ruhiges, während die Curve der Zuwachse am Tage zwei bis drei tiefe Zacken darbietet; auf die plötzliche Erhebung der Zuwachse bis 10 oder 12 Uhr Vormittag, folgt eine Verminderung, die ich, da sie in die Zeit der höchsten Temperatur fällt, für eine Wirkung des Lichts halte; diese wird durch die dauernd höhere Temperatur jedoch zum Theil überwogen, was sich in einer bald grösseren, bald geringeren, bald früher, bald später am Nachmittag eintretenden Erhebung der Zuwachscurve ausspricht. Im Ganzen ist also eine gewisse Aehnlichkeit im Gang der Wachsthumscurven mit dem auf unseren Tafeln V, VI, VII wohl vorhanden, aber offenbar durch Nebeneinflüsse und durch die in der Messungsweise liegenden Ungenauigkeiten vielfach entstellt. Meyer scheint nicht daran gedacht zu haben, dass das Licht am Tage der das Wachsthum beschleunigenden Wirkung der Temperaturerhöhung entgegenwirkt, eine Thatsache, die man längst vorher aus den Untersuchungen Bonnet's und anderer hätte folgern können; ja Meyer scheint das Tageslicht für einen den Längenzuwachs geradezu beschleunigenden Factor gehalten zu haben, wie ich aus dem Text p. 111 schliessen möchte.

Interessanter, und an wissenschaftlicher Ausbeute reicher sind die Beobachtungen Mulder's über das Wachsthum des Blattes von Urania speciosa[1]) (1829). Am 9. Juni wurde die Spitze des zur Beobachtung bestimmten Blattes über der es verhüllenden Scheide sichtbar; der Stand dieser Spitze wurde an dem nicht mehr wachsenden Stiel des nächst benachbarten Blattes durch einen Strich bezeichnet und von diesem

1) Mulder in Bijdragen tot de natuurkundige Wetenschappen vorzamelt door Van Hall, Vrolik en Mulder. Amsterdam 1829 IV. p. 251.

aus immer gemessen; diess geschah vom 12. Juni bis 25. Juni Abends, dann entfaltete sich die Blattspreite am folgenden Tag, auch kam jetzt der Blattstiel zum Vorschein. — Die Beobachtungen wurden meist von 5 Uhr Morgens bis 12 Uhr Nachts in ein- bis zweistündigen Intervallen gemacht; sie umfassen ausser den Zuwachsen auch die Lufttemperatur und den Zustand des Himmels (Helligkeit, Bewölkung, Regen). Aehnlich wie MEYER hat auch MULDER seine sehr zahlreichen und anstrengenden Beobachtungen in einer so wenig übersichtlichen Weise mitgetheilt, dass es viel Zeit und Mühe fordert, sie in eine der Beurtheilung günstige Form zu bringen; ich habe die drei Tabellen l. c. p. 254, 257 und die der Tageszuwachse in eine Tabelle zusammengestellt und nach dieser die Zuwachse und Temperaturcurve entworfen; beide Curven zeigen einen verhältnissmässig ruhigen Verlauf, täglich einmal auf- und absteigend (nur am 16., 17., 24. Juni ist die Zuwachscurve zackig); merkwürdig ist aber, dass sie immerfort gegensinnig verlaufen, d. h. während die Temperaturcurve Vormittag steigt, fällt die Zuwachscurve, während diese vom Mittag bis Morgen steigt, fällt jene; die Maxima der Temperatur am Mittag fallen über die Minima der Zuwachse, die Minima der Temperatur am frühen Morgen beinahe über die Maxima der Zuwachse. Es zeigt diess ohne Weiteres, dass die Schwankungen des Wachsthums in diesem Falle nicht oder nicht unmittelbar von der Temperatur abhängen. MULDER selbst fasst seine Resultate folgendermaassen zusammen: „Man findet, dass Mittags ein Stillstand des Wachsthums eintritt, der immer mit 11 Uhr begann und meist bis 1 Uhr, bisweilen auch bis 4 Uhr dauerte. Das Wachsthum war im ersten Falle von 1—4 Uhr immer gering, meist 1 Strich (niederl.) in 3 Stunden. Die Temperatur war zur Zeit des Stillstandes (11—1 Uhr) zwischen 71—88° F., meist über 80°; der Himmel hell oder wenig bewölkt mit Sonnenschein, auch einmal trüb. Bei dem sehr geringen Wachsthum von 1—4 Uhr war die Temperatur 70—88°, meist über 80° F. Beachtung verdient auch, dass dieses Wachsthum immer bei sinkender Temperatur eintrat, während der Stillstand bei steigender stattfand (das Letzte ist nach der Tabelle nicht immer zutreffend und unwesentlich). — Es ist aber auch ein Tag, wo auch am Mittag pro Stunde 1 selbst 3 Strich (niederl.) zuwachsen. Der Unterschied in den äusseren Verhältnissen[1]) an diesem Tage (17. Juni) bestand darin, dass die Luft schon seit Morgens trüb und feucht (betrocken en dick) war, während kein Sonnenscheim wahrgenommen wurde; das Thermometer spielte von 11—4 Uhr zwischen 70—72° F.; — auch war das von 8—11 Uhr (Vormittag) besonders stark (9 Strich in 3 St.) — der Zustand dieses Tags schien mit einem nächtlichen übereinzukommen. Ob auch innere, in der Pflanze selbst gelegene Ursachen mitgewirkt haben, lässt sich nicht beweisen, doch ist es nicht wahrscheinlich; in der Nacht, die

1) Es sei hier bemerkt, dass die nächtlichen Zuwachse bis über 7 Strich erreichen.

auf diesen Tag folgte, war das Wachsthum nicht stark u. s. w. „Man könnte, fährt MULDER fort, aus den zwei genannten Punkten die Folgerung ableiten, dass bei den höchsten Wärmegraden und Einwirkung des Sonnenlichts kein Wachsthum in die Länge der Blätter stattfindet."

Vergleiche ich nun diese Ergebnisse mit meinen auf Tafel V, VI, VII verzeichneten, so finde ich eine überraschende Uebereinstimmung; offenbar ist das Steigen der Zuwachscurve bis zum frühen Morgen bei stetig sinkender Temperatur eine Wirkung der Dunkelheit, die sich von Stunde zu Stunde steigert; ebenso das Sinken der Zuwachse vom frühen Morgen bis Mittag eine Folge der immer zunehmenden Lichtwirkung, welche hier die beschleunigende Wirkung der steigenden Temperatur überwiegt; dass das Steigen der Zuwachse schon am Nachmittag wieder eintritt, (um bis zum frühen Morgen zu dauern), lässt sich aus der nun abnehmenden Lichtwirkung bei noch immer hoher Temperatur erklären. Bei der von MULDER beobachteten Pflanze mag aber noch ein Umstand mitgewirkt haben, der bei meinen Beobachtungen ganz ausser Betracht kommt; die beträchtliche Verdunstungsfläche, welche die mächtigen Blätter der Urania darstellen, musste mit steigender Temperatur und Lichtintensität am Tage dahin wirken, die ganze Pflanze, also auch das beobachtete wachsende Blatt, wasserärmer zu machen, und diess umsomehr, als um diese Zeit auch die psychrometrische Differenz sich beträchtlich gesteigert haben mag; es musste demnach der Turgor der Pflanze und zumal des wachsenden Blattes und in Folge dessen die Wachsthumsgeschwindigkeit sich vermindern; so konnte die retardirende Wirkung, welche das Licht auf das Wachsthum direkt ausübt, mit der Verminderung des Turgors zusammen das Wachsthum gradezu auf Null reduciren; mit abnehmender Lichtintensität nahm am Nachmittag dann auch die Temperatur ab, und in Folge dessen die relative Luftfeuchtigkeit zu, der Turgor begann zu steigen und mit ihm die stündlichen Zuwachse.

Nicht so befriedigend und klar sind die Resultate von MULDER's Beobachtungen über das Längenwachsthum einer Blüthe von Cactus grandiflorus[1]) 1829); hier stand das Wachsthum Nachts still, oder es war doch sehr gering, dagegen war es Tags, besonders am Mittag, am stärksten. — Die nach seinen Zahlen entworfene Wachsthumscurve zeigt zumal am 22. und 23. Juli einen ungemein unruhigen Gang, sie springt unregelmässig auf und ab; mit Ausnahme des 24. Juli erkennt man jedoch leicht, dass die Zuwachse mit der Temperatur im Allgemeinen steigen und fallen. Das Verhalten des Wachsthums ist also, trotzdem dass die Pflanze dem Lichteinfluss ausgesetzt war, grade das entgegengesetzte von dem des Wachsthums des Uraniablattes, und diess erscheint mit Rücksicht auf die Natur

---

1) MULDER in Bijdragen tot de natuurkundige Wetenschappen verzamelt door VAN HALL, VROLIK, MULDER IV. 1829. p. 420.

der Pflanze erklärlich; die retardirende Wirkung des Tageslichts wurde hier durch die Wirkung der Temperaturerhöhung umsomehr überwogen, als bei der geringen Verdunstungsfläche des Cactus die Verminderung des Turgors am Tage wegfiel oder doch unbeträchtlich war; bei der grossblättrigen Urania wurde das Wachsthum von dem Licht und der Wirkung der Transpiration, bei dem massiven Cactus wurde es von der Temperatur entscheidend beeinflusst.

Zuccarini[1]) beobachtete 1833 das Wachsthum eines Blüthenstammes von Agave lurida; er wurde vom 4. Mai bis 18. Juni täglich nur einmal gemessen; die täglichen Mitteltemperaturen schwankten in dieser Zeit von 3,4—15,2° R., das Wetter war sehr veränderlich; dementsprechend schwankt denn auch die Curve der Tageszuwachse unregelmässig auf und ab, ohne eine deutliche Beziehung zur Temperatur oder auch nur die grosse Periode erkennen zu lassen; nimmt man dagegen die dreitägigen Mitteltemperaturen und dreitägigen Zuwachse, so findet man, dass den vier Hebungen und Senkungen der Temperaturcurve ebenso viele Hebungen und Senkungen der Zuwachscurve entsprechen, eine Erscheinung, die bei Curven aus mehrtägigen Zuwachsen und Mitteltemperaturen gewöhnlich hervortritt und zeigt, dass für grössere Zeiträume gewöhnlich die Temperatur den Gang des Wachsthums entscheidend bestimmt.

Das soeben Gesagte findet seine Bestätigung auch, wenn man die von dem Gärtner Dommelaer in Van Der Hopp's Garten an zwei Blüthenstämmen von Agave americana gemachten, von De Vriese mitgetheilten Beobachtungen[2]) graphisch darstellt. Eine der beiden Pflanzen stand während der Beobachtungszeit (vom 31. Mai bis 13. August 1835) in einem Gewächshause, die andere in freier Luft. Gemessen wurde täglich zweimal, Morgens und Abends, meist um 7 oder 8 Uhr, die Temperatur aber viermal (8 Uhr früh, 1 Mittag, 7 und 10 Uhr Abend) beobachtet. — De Vriese zieht aus den Tabellen den Schluss, das Wachsthum hänge zumeist von der Temperatur der Luft ab; das beinahe beständig schwächere Wachsthum Nachts stehe in Verbindung mit der niedrigeren Temperatur und der geringeren Feuchtigkeit (tot de mindere opklimming van vocht; die relative Feuchtigkeit ist aber Nachts gewöhnlich grösser). Viel mehr lässt sich aus den langen Tabellen der unzweckmässig eingerichteten Beobachtungen nicht ersehen; ich habe die Zuwachse und Mitteltemperaturen für je zwei Tage daraus berechnet und auf Coordinaten übertragen; die Wachsthumscurven beider Pflanzen gehen mit der der Temperatur in ihren grossen Schwingungen gleichsinnig, nur zwischen dem 16. und 26. Juli weicht die im Haus stehende Pflanze ab. Von der grossen Periode des Wachsthums ist nur der Anfang und

1) Zuccarini in Nova Acta Acad. Caes. Leopold. Carol. nat. curios. Vol. XVI. pars II. 1833. p. 673.

2) in der Tijdschrift voor natuurlijke Geschiedenis en Physiologie uitgegev. door Van der Hooven en de Vriese. Amsterdam 1838. p. 51.

das Ende deutlich zu erkennen; eine beträchtliche Depression der Temperatur von Mitte Juni bis Anfang Juli und eine folgende beträchtliche Hebung bewirkt eine tiefe Senkung und nachherige Hebung der Zuwachscurven, durch welche der Verlauf der grossen Periode fast unkenntlich wird.

Während die bisher erwähnten Beobachter mit naiver Einfachheit ihre Beobachtungen mittheilen und nur schüchtern Versuche zur Deutung derselben wagen, tritt uns nun eine Abhandlung Harting's[1]) (1842) mit dem vollen Bewusstsein der Wichtigkeit und Schwierigkeit der Aufgabe und sonach mit ganz anderen Ansprüchen auf Beachtung entgegen, die natürlich auch die Kritik entschiedener herausfordern. Bei der hier nöthigen Kürze muss ich mich jedoch darauf beschränken, Harting's Arbeit dem ernsten Studium derer, die in dieser Richtung ferner thätig sein wollen, zu empfehlen, da sie in Bezug auf die Discussion der Resultate den Erwartungen, die man bei dem Namen Harting's hegt, durchaus entspricht; auffallend ist es aber, dass ein Forscher von so bedeutender Begabung sich entschliessen konnte, seine Beobachtungen im Freien zu machen, mit einer Pflanze (Humulus Lupulus), die sich sehr leicht im Topf cultiviren lässt. So war er genöthigt, neben den Messungen der Zuwachse, um wissenschaftlichen Anforderungen gerecht zu werden, auch zu beobachten, 1) den Regenmesser, 2) das Psychrometer (dessen Angaben ganz überflüssiger Weise in Luftfeuchtigkeiten umgerechnet sind), 3) das Barometer, 4) das Wetter, d. h. Helligkeit, Bewölkung des Himmels, 5) Richtung und Kraft des Windes; 6) ein Thermometer im Boden, eines in der Luft. Da die Pflanze den grössten Theil des Tages von der Sonne beschienen werden konnte, so haben die Angaben dieser Thermometer sowohl, als auch die psychrometrischen Differenzen eine nur sehr mittelbare Beziehung zur Pflanze selbst. Wie complicirt und gar nicht mehr zu beherrschen die so gewonnenen Beobachtungen werden, zeigen die Tabellen A und B, wo man nicht weniger als 18 Columnen von Zahlen und Zeichen übersehen soll, um all die Beziehungen des Wachsthums zu erkennen. Dabei muss man die Aufmerksamkeit auf drei Stengel theilen, deren einer schon Mitte Juni kränkelt, während ein zweiter abbrach und nur einer ungestört fortwuchs. Beobachtet wurde um 7 Uhr Morgens, 3 Uhr Nachmittag, 11 Uhr Abends; es liegt auf der Hand, dass bei dieser Eintheilung des Tages die Wirkung des Lichts unmöglich deutlich hervortreten konnte; die Nacht von 11 Uhr Abend bis 7 Uhr früh gerechnet, kann man allenfalls gelten lassen; die Zeit von 7 Uhr früh bis 3 Uhr aber umfasst allzugrosse Temperaturschwankungen, ebenso die von 3 Uhr bis 11 Uhr Abends, wo noch dazu

1) P. Harting Waarnemingen over den groei der Planten en de omstandigheden die darop invloed hebben (Tijschrift voor natuurlijke geschiedenis en physiol. uitgegev. door Van der Hooven en de Vriese. Leiden 1842 T. IX. p. 297).

die ersten Stunden intensives Tageslicht, die folgenden aber Nachtdunkelheit umfassen.

HARTING wählte den Hopfen zu seinen Messungen seines besonders raschen Wachsthums wegen, ferner weil bei der Form der Terminalknospe die Messung bis auf 0,5 Mill. genau gemacht werden kann, endlich weil das frühzeitig im Jahr beginnende und lang dauernde Wachsthum eine mindestens fünf Monate hindurch fortgesetzte Beobachtung erlaubt. — Da bei dem Hopfen immer nur die 2—3 unter der Knospe befindlichen Internodien im Wachsthum begriffen sind, so gelten die beobachteten Zuwachse für diese allein, aber auch für sie zusammengenommen (vergl. oben p. 163).

Wer die von HARTING selbst gezogenen Schlüsse übersichtlich beisammen zu sehen wünscht, findet sie am Ende seiner Abhandlung, noch bequemer in der botanischen Zeitung 1843 p. 99—101; ich glaube jedoch dem Leser verständlicher zu werden, wenn ich das Wichtigste aus der Abhandlung selbst hervorhebe; p. 310 heisst es: „Wenn wir nun das Wachsthum dieser drei Stengel unter einander vergleichen, dann fallen sogleich die grosse Ungleichheit und die geringe Uebereinstimmung in's Auge, die nicht allein in grösseren Zeitabschnitten, sondern vor Allem in den täglichen Messungen wahrgenommen wurden. Nur selten hält das Wachsthum dieser, doch völlig gleichen äusseren Einflüssen unterliegenden Stengel, gleichen Schritt; den einen Tag nimmt der eine, den folgenden der andere stärker an Länge zu, ohne dass hierbei irgend eine feste Regel wahrzunehmen ist."

„Wenn man das Wachsthum zu verschiedenen Zeiten des Pflanzenlebens vergleicht, so findet man, dass es unabhängig von äusseren Ursachen, eine Zu- und eine Abnahme des Wachsthumsvermögens giebt, indem die Stengel zu gewissen Zeiten geringer Luftwärme und ohne andere begünstigende Umstände, stärker gewachsen sind als zu einer anderen früheren Zeit; auch geschieht dieses Zunehmen bei allen drei Stengeln nicht in einem gleichen Verhältniss."

HARTING hat hier offenbar dieselbe Erscheinung für die Wachsthumsperiode eines ganzen Stengels erkannt, die MÜNTER für einzelne Internodien, ich für einzelne Querabschnitte von solchen gefunden, und die ich (unter I) als grosse Periode eines wachsenden Pflanzentheils bezeichnet habe. Sehr deutlich tritt diese grosse Periode in einer von HARTING vorher mitgetheilten Tafel hervor, wo er sagt, der eine Hopfenstengel der am 1. Mai 492 Mill. hoch war, habe bis Ende August die Länge von 7,263 Meter erreicht und zwar vertheilen sich die Zuwachse folgendermaassen: es kommen

0,492	Meter	auf	den	April
2,230	»	»	»	Mai
2,722	»	»	»	Juni

1,767 Meter auf den Juli
0,052 » » » August.[1])

Harting's Erklärung dieser Erscheinung halte ich nicht für gelungen. ,,Die mit der Zeit zunehmende Beschleunigung, sagt er, kann völlig erklärt werden, theils aus der zunehmenden Anzahl und Verbreitung der Wurzeln während des Lebens der Pflanze, wodurch die aufsaugende Oberfläche grösser wird; theils aus der Vermehrung der Blätter, und folglich der Verdunstung, welche, wenn nicht die einzige, doch die vornehmste Ursache des Saftsteigens ist.'' Harting verwechselt hier die Wasserströmung im Holzkörper, welche durch die Verdunstung hervorgerufen wird, mit der langsamen Wasserbewegung, die das Wachsthum veranlasst, zwei ursächlich ganz verschiedene Vorgänge[2]); die durch die Transpiration veranlasste Wasserströmung ist für das Wachsthum unnöthig, wie die Vegetation der submersen Pflanzen und die von Landpflanzen in dampfgesättigtem Raume zeigt, und kann ihm sogar nachtheilig werden, wenn der Ersatz durch die Wurzeln nicht ausreicht und so Verminderung der Turgescenz eintritt. Dieser Irrthum kehrt bei Harting mehrfach wieder. ,,Auf die zunehmende Beschleunigung, fährt er fort, folgt eine ähnliche Abnahme des Wachsthums, welche besonders bemerkbar wird um die Zeit, wo die Blüthenknospen sich zu entwickeln beginnen, obgleich sie schon früher anfängt. Mit dem Erscheinen der Blumen vermindert sich das Wachsthum sehr schnell und endlich, wenn die Antheren sich geöffnet haben, und der Pollen erscheint, also zur Zeit der Befruchtung, hört alles Wachsthum auf.'' Harting sieht hierin, wie das Spätere zeigt, eine der Ursachen des Aufhörens des Wachsthums; nicht wahrscheinlich sei es, dass die Wurzeln eine belangreiche Aenderung erleiden, viel eher könne man annehmen, dass eine Veränderung der anatomischen Structur des Stengels vor und nach dem Erscheinen der Blumenknospen stattfinde. Dass auch diese Annahme kaum zutreffen dürfte, zeigt z. B. der Kürbis, der Monate lang Blüthen bildet und dabei fortwächst.

In Betreff der Vertheilung des Wachsthums auf die Tageszeiten hebt er p. 314 hervor, dass (wie Tabelle C ergebe) das gesammte Wachsthum des Sprosses No. I im Mai und Juni von 7 Uhr früh bis 3 Uhr Nachmittag am stärksten, von 11 Uhr Abend bis 7 Uhr früh am schwächsten gewesen sei, nämlich

7^h früh—3^h Nachm. = 1837,5 Mill.
3^h Nachm.—11^h Ab. = 1589,5 »
11^h Abend—7^h früh = 969,0 »

Diess gelte jedoch nicht für die ganze Vegetationszeit; vielmehr finde

1) Man vergl. hiermit noch die Tabellen auf p. 348 der Harting'schen Arbeit, wo die grosse Periode auch für die Blattstiele von Rheum Rhaponticum und palmatum hervortritt.

2) Vergl. darüber mein Handbuch der Exp.-Physiol. p. 196.

das stärkste Wachsthum um so später am Tage statt, je länger der Stengel bereits geworden ist und, wie er hinzufügt, einen je längeren Weg der Saft von der Wurzel bis zum Gipfel zurückzulegen habe, wofür irgend ein Grund mir in diesem Falle nicht einleuchten will; übrigens hat schon CASPARY (l. c. p. 165) mit Recht darauf hingewiesen, dass diese Folgerung HARTING's in seinen eigenen Tabellen keine allgemeine Bestätigung findet, die richtige Erklärung dürfte vielmehr darin liegen, dass nach dem 7. Juni die absteigende Phase der grossen Periode beginnt.

Ganz besondere Sorgfalt hat HARTING auf die Beziehung der Temperatur zum Wachsthum verwendet; es lohnt, darüber einigermaassen ausführlich zu referiren, obgleich ich im Hauptresultat nicht mit ihm einverstanden bin. „Die Wirkung der Luftwärme, heisst es p. 318, übertrifft vorweg alle anderen messbaren Einflüsse"; er erläutert diess durch eine Tabelle (p. 319), wo in fünftägigen Mitteln die 8stündigen Mitteltemperaturen und mittleren Zuwachse des Sprosses No. I verzeichnet sind; man ersieht aus derselben, dass die grössten Zuwachse vom 1. Mai bis 9. Juni in die Zeiträume von 7 Uhr früh—3 Uhr Nachmittag fallen, wo auch die Temperatur den höchsten mittleren Stand behauptet; dass das Wachsthum von 3 Uhr Nachmittag bis 11 Uhr Abend entsprechend der geringeren Mitteltemperatur abnimmt und dass es von 11 Uhr Abend bis 7 Uhr früh mit dem tiefsten Stande der Temperatur übereinstimmend am geringsten ist. — Indem ich manches Unwesentliche und Unzutreffende des Textes übergehe, versuche ich, in Kürze eine Vorstellung davon zu geben, wie HARTING zu seiner bekannten Formel gelangt, durch welche das Wachsthum als Function der Temperatur und der grossen Periode ausgedrückt werden soll; ist die Formel auch noch nicht befriedigend, so ist der Versuch, eine solche zu finden, beachtenswerth. Die Summe des Gesammtwachsthums der drei Hopfenstengel, dividirt durch 3, giebt das mittlere Wachsthum eines derselben, dieses getheilt durch die mittlere Temperatur eines Tages, giebt das Wachsthum für je einen Grad, während dieses Tages; so ist diess dargestellt für Mai und Juni auf seiner Tabelle A; diese zeigt, dass bis zum 7. Juni das Wachsthum für je einen Grad zunimmt; er berechnet, wie gross für den Hopfen diese tägliche Beschleunigung des Wachsthums für einen Grad C. der Temperatur ist[1]), nämlich = 0,1337 Mill. „Setzt man nun, fährt er fort, die bekannte Lufttemperatur eines gegebenen Tages $= t$, das Wachsthum derselben Pflanze an demselben Tage $= a$ und verlangt man zu wissen, wieviel das wahrscheinliche Wachsthum A betragen wird an einem Tage, der um d Tage von dem ersten entfernt ist und dessen Mitteltemperatur $= t'$ ist, so hat man $A = t'\left(\frac{a}{t} + d\,r\right)$, worin r die Grösse dar-

1) Wir könnten diess auch als die tägliche Steigung der grossen Curve des Wachsthums in der ersten Phase bezeichnen.

stellt, welche die tägliche Beschleunigung des Wachsthums vergegenwärtigt, d. h für unsere Pflanze 0,1337 Mill.“ — „Man weiss z. B., dass am 5. Mai die mittlere Temperatur 15,7°, das Wachsthum der drei Stengel zusammen 109 Mill. d. h. 36,3 Mill. für jeden ist, dann wird das wahrscheinliche Wachsthum am 26. Mai (also 21 Tage später), wo die Mitteltemperatur 18,1° ist, betragen $\left(\frac{36,3}{15,7} + 21 \times 0,1337\right) \times 18,1 = 94,46$ Mill. für jeden Stengel oder 283,38 Mill. für alle drei zusammen; an diesem Tage aber war das Wachsthum wirklich 301,5 Mill., also 18 Mill. mehr, was er auf die übrigen Umstände schiebt, die am 26. günstiger als am 5. Mai waren.

Es ist wesentlich, zu wissen, wie der Werth *r* hier gewonnen ist; die durch die täglichen Mitteltemperaturen dividirten Zuwachse bilden nach Harting eine versteckte arithmetische Reihe; indem er z. B. vom 7. Glied derselben das erste abzieht, bekommt er die 6fache Differenz der Reihe; z. B. für den Zeitraum 1. bis 6. Mai beträgt das Wachsthum dividirt durch die Temperatur 2,184 Mill.; — für den Zeitraum 31. Mai bis 3. Juni beträgt es ebenso 5,982 Mill.; letzter Werth ist das 7. Glied der Reihe, daher hat man $\frac{5,982-2,184}{6} = 0,633$, d. h. für jeden Tag $\frac{0,633}{5} = 0,1266$. — Die mehrfach wiederholte Berechnung ergiebt nun Werthe für *r*, welche zwischen 0,0925 bis 0,1854 schwanken, das Mittel aus allen ist 0,1337 Mill. $= r$.

In seiner Tafel A. sind nun die Werthe $\frac{z}{t}$ (Zuwachs durch die Temp. dividirt), wie sie die Beobachtung ergiebt und die nach der Formel berechneten Zuwachse neben einandergestellt; im Allgemeinen stimmen sie ziemlich überein, doch kommen auch nicht selten beträchtliche Abweichungen vor; die berechneten Werthe sind bald zu klein, bald zu gross; am 3. Juni z. B. beträgt die Differenz beider $^1/_7$ des direct beobachteten Werthes, am 15. Juni sogar $^1/_2$ desselben; überhaupt ist die Uebereinstimmung nach dem 7. Juni, wo die absteigende Phase der grossen Curve eintritt, gering, offenbar, weil der absteigende Schenkel der grossen Curve anders geformt ist als der aufsteigende, nach welch letzterem vorwiegend der Werth von *r* berechnet ist (vergl. jedoch l. c. p. 329).

Weiterhin (p. 330) wirft Harting die Frage auf, ob das Maass der Beschleunigung (*r*) auch für die ersten und letzten Zeiträume des Wachsthums gelte; er zeigt, dass diess unmöglich ist, da die Berechnung des Anfanges und Endes des Wachsthums ganz andere Zeiten ergiebt, als die beobachteten. Wahrscheinlich würden weitere Beobachtungen lehren, dass die Zunahme des Wachsthums nicht so einfach ist, als angenommen werde, und dass auch die Beschleunigung selbst mit raschem Wachsthum zunimmt;

jedenfalls müsse man den Werth von r selbst als einen veränderlichen betrachten.

Ganz abgesehen von manchen anderen Schwierigkeiten, die sich bei weiterer Verfolgung des von HARTING eingeschlagenen Weges finden würden, möchte ich hier nur darauf aufmerksam machen, dass man statt der beobachteten Temperaturen t, nothwendig die Werthe $t-t_0$ benutzen müsste, wenn man unter t_0 die niedrigste specifische Wachsthumstemperatur einer Pflanze versteht; bei dem Hopfen liegt diese nur wenig über dem Gefrierpunkt, daher konnte HARTING auch ohne Beachtung der damals noch unbekannten Thatsache, dass die niedrigsten Wachsthumstemperaturen oft hoch über dem Eispunkt liegen, mittels seiner Formel Werthe finden, die von den beobachteten nicht gerade abschreckend verschieden waren.

Während HARTING die Frage nach der specifischen Nulltemperatur des Wachsthums nicht berührt, legt er sich dagegen die Frage vor, ob die Beschleunigung des Wachsthums immerfort mit der steigenden Temperatur zunehme, oder ob es dafür eine Grenze giebt, also einen Punkt, den wir jetzt gewöhnlich als das Optimum der Temperatur bezeichnen. Aus seinen Beobachtungen vom 7.—11. Juni schliesst er, dass für den Hopfen diese Grenze bei 20° C. liege, was gewiss zu niedrig ist. Selbstverständlich müsste bei Aufstellung einer der HARTING'schen ähnlichen Formel auch darauf Rücksicht genommen werden, dass über einen gewissen Punkt hinaus (über dem Optimum), die Temperaturerhöhung retardirend wirkt. Gerade diese Andeutungen zeigen nun, wie äusserst complicirt die Beziehungen von Wachsthum und Temperatur sind und wie gering bis jetzt die Hoffnung ist, diese durch eine mathematische Formel auszudrücken.

In Bezug auf die übrigen Umstände, welche das Wachsthum von HARTING's Pflanzen mit bestimmten, beschränke ich mich darauf, seine am Schluss mitgetheilten Thesen anzuführen, nämlich:

„Die Temperatur der Wurzel übt keinen merklichen Einfluss auf das Wachsthum des Stengels aus." — „Wahrscheinlich ist eine trockene Luft im Allgemeinen für das Wachsthum günstiger als eine sehr feuchte Luft (der oft wiederholte Lieblingsirrthum HARTING's, der bereits oben angedeutet wurde). Es scheint jedoch, dass ebensowohl eine sehr trockene als eine sehr feuchte Luft nachtheilig auf das Wachsthum einwirken." — „Stärkerer Luftdruck scheint im Allgemeinen einen günstigen Einfluss auf das Wachsthum zu äussern" (was ich aus seinen Beobachtungen denn doch nicht folgern möchte). — „Ueber den Einfluss von Wind oder ruhiger Luft lassen sich aus den Beobachtungen keine einigermaassen sicheren Schlüsse ziehen." — „Regen, wenn er einigermaassen stark ist, verlangsamt immer das Wachsthum des Hopfens" (auch Regen bei gleicher Temperatur wie vor und nachher in trockener Luft?)

W. H. DE VRIESE beobachtete vom 10. Juni bis 1. Septbr. 1847 das Wachsthum eines Blüthenstammes von Agave americana, der sich im

Universitätsgarten zu Leyden entwickelte. Die sämmtlichen Messungen von Anfang an sind mitgetheilt in den Annales de l'agriculture et de botanique de Gand 1848, die in meine Hände zu bekommen, ich vergeblich bemüht war; die seit dem 9. August gemachten Beobachtungen an demselben Exemplar, die das für uns Interessanteste enthalten, sind mit den Schlussfolgerungen de Vriese's in dem Nederlandsch kruidkundig Archief (uitgegev. door de Vriese, Dozy en Molkenboor Th. II. 2. Stück 1850) abgedruckt, die ich gleich den oben genannten niederländischen Zeitschriften aus der Königl. Hof- und Staatsbibliothek in München zur Benutzung erhielt.

De Vriese hebt zunächst hervor, das Wachsthum sei anfangs stärker als später gewesen, ohne dass man diess äusseren Umständen zuschreiben könne; es ist diess offenbar unsere von ihm unvollständig wahrgenommene grosse Wachsthumsperiode, deren absteigende Phase in der mir vorliegenden Tabelle vom 9. August bis 1. Septbr. sehr deutlich erkennbar ist. — Das Wachsthum vollzog sich anfangs vorwiegend, später ausschliesslich in den Theilen nahe unter dem Gipfel, die unteren Internodien wuchsen später nicht mehr; die stärkste Verlängerung trat vor dem Austreiben der Aeste ein. —

Vor dem 10. August war das Tageswachsthum meist stärker als das der Nacht; es sei kein Zweifel, dass diess der höheren Temperatur des Tages zuzuschreiben sei, Wachsthum und Wärme hielten gleichen Schritt; in der Zeit des starken Wachsthums haben die Nachtzuwachse die der Tage nur wenige Male nennenswerth übertroffen, was er (für den 21., 29. und 31. Juli) z. Th. der Temperatur zuschreibt. Bei Caspary, (Flora 1856 p. 166), der die zuerst genannte Abhandlung citirt, finde ich noch die Mittheilung: „der Schaft wächst im Mittel vom 21. Juni bis 8. August zur wärmsten Tageszeit zwischen 12 und 3 Uhr am meisten, gegen Abend nimmt das Wachsthum allmälig ab; von Morgen gegen Mittag steigt es jedoch nur an einzelnen Tagen gleichmässiger an und erleidet im Mittel eine Verminderung zwischen 9 und 12 Uhr, welche durch individuelle (?) Verdunstungsverhältnisse verursacht ist."

Die mir vorliegende Tabelle vom 9. August bis 1. Septbr. zeigt nun die merkwürdige Erscheinung, dass das Wachsthum dieses Blüthenstammes an 5 Tagen Vormittags von 6 Uhr früh bis 12 Uhr Mittags ganz still stand, an zwölf Tagen trat in derselben Tageszeit sogar eine namhafte Verkürzung ein, und nur an zwei Tagen fand Vormittag ein geringer Zuwachs statt. — Den Schlüssel zur Erklärung dieses Verhaltens dürfte die von de Vriese nur nebenbei und zuletzt erwähnte Thatsache liefern, dass die beobachtete Pflanze keine Wurzel besass; „die Aufsaugung von Wasser, sagt er, geschah durch die poröse todte Masse, welche die noch lebenden Theile des Wurzelstocks bedeckte." Der wachsende Stamm nahm nothwendig die Nahrungsstoffe aus den dicken fleischigen Blättern, wahrscheinlich aber auch

das Wasser aus diesen auf, ähnlich wie die austreibenden Laubblätter einer in der Luft aufgehängten Küchenzwiebel Nahrung und Wasser aus den Zwiebelschalen allein erhalten. Solange der Stamm noch nicht sehr lang und umfangreich war, mochte die Zufuhr aus den Blättern genügen, als er aber immer länger wurde und sogar die Aeste auszuwachsen begannen, konnten die schon zum Theil erschöpften Blätter dem Bedürfniss des Stammes nicht mehr vollkommen genügen; das Wasser, welches sie dem Stamme lieferten, reichte wohl hin, soweit es das Wachsthum, die Ausdehnung der Zellen betraf; den Transpirationsverlust am Vormittag zu decken war es unzureichend; da musste die Turgescenz des wachsenden Stammes abnehmen und diess konnte sich dadurch geltend machen, dass keine wahrnehmbare Verlängerung oder gradezu Verkürzung eintrat. Diese Erklärung gewinnt an Wahrscheinlichkeit, wenn man in der Tabelle bemerkt, dass am 19. August wo es regnete, und am 22. August, wo der Himmel trüb (betrocken) war, auch ein geringer Zuwachs am Vormittag eintrat. Verminderung des Turgors durch die Verdunstung mochte auch dadurch unterstützt werden, dass das Wasser aus den Blättern bis zum wachsenden Gipfel in der letzten Zeit einen beträchtlich langen Weg zurückzulegen hatte; trat am Vormittag bei hellem, trockenem Wetter Verdunstung an den Gipfeltheilen ein, so konnte der Ersatz nicht sofort erfolgen. Zu dem Allen kam, dass das Licht an sich auf das Wachsthum des Stammes retardirend einwirkte; solange an dem noch kürzeren Stamm die Wasserzufuhr günstiger war, konnte diese durch die beschleunigende Wirkung der Temperatur aufgewogen werden, nicht mehr aber später, wo der Stamm an Wassermangel litt. — Gegen diese Erklärung erhebt sich nur die eine Schwierigkeit, dass das Wachsthum an den Nachmittagen (12 Mittag bis 6 Abend) immer noch ein ziemlich bedeutendes, wenn auch kleiner als in den Nächten war; man darf aber vielleicht annehmen, dass die langsam eintretende Erwärmung der Blattmasse dazu beitrug, das Wasser rascher in den Stamm hinaufgelangen zu lassen, während in den Nächten die Sistirung der Transpiration den Stamm vor Wassermangel schützte.

Die ausführlichste Arbeit, welche bisher erschien, ist die von Caspary: über die tägliche Periode des Wachsthums des Blattes der Victoria regia und des Pflanzenwachsthums überhaupt[1]) (1856). Er wählte dieses Object wegen seines raschen Wachsthums, da das Blatt an einem Tage im Maximum um mehr als einen Fuss im Durchmesser zunimmt, und weil seine horizontale, auf dem Wasser flach ausgebreitete Lage die Messung begünstigt; diese günstige Lage tritt allerdings erst spät ein, und da, wie Caspary bemerkt (p. 169), das Wachsthum am Tage der Ausbreitung des Blattes am stärksten ist, in den folgenden Tagen abnimmt, so betreffen seine Messungen nur die letzte Phase der grossen Wachsthumsperiode, deren Existenz Cas-

1) Caspary in Flora 1856 p. 113—171.

pary völlig entgangen ist. Aber grade in dieser Zeit des Wachsthums ist gewöhnlich der Einfluss äusserer Agentien, wie meine eigenen und andere Beobachtungen zeigen, schwerer zu erkennen als unmittelbar vor, während und nach dem Eintritt des Maximums der grossen Periode und diesem Umstand ist es wohl vorwiegend zuzuschreiben, dass Caspary's mit eisernem Fleiss und enormer Ausdauer Monate lang Tag und Nacht fortgesetzte stündliche Beobachtungen (1854 und 1855) nicht so reich an brauchbaren Resultaten sind, als sie es unter anderen Umständen sein würden.

Da übrigens Caspary's sehr ausgedehnte Arbeit Jedem leicht zugänglich ist, so beschränke ich mich darauf, die am Schluss von ihm selbst zusammengestellten Resultate, soweit sie unsere Aufgabe unmittelbar betreffen, anzuführen und der nöthigen Kritik zu unterziehen. Ich beginne mit seinem 3. Satz: ,,das Blatt wächst Tag und Nacht ohne Unterbrechung fort, jedoch nicht regelmässig. Auf sehr starkes Wachsthum folgt meist geringes und auf geringes oft starkes''; er fügt hinzu ,,diese Ungleichheit des Wachsthums ist bei allen anderen untersuchten Pflanzen auch bemerkt worden'' — es ist die oben unter I. als stossweise Aenderung des Wachsthums bereits charakterisirte Erscheinung.

4) ,,Trotz der Unregelmässigkeit lässt sich eine tägliche Periode doch deutlich erkennen. Das Wachsthum ist kurz nach Mittag zwischen 12 und 1 Uhr am stärksten, erreicht später am Nachmittag ein Minimum, steigt wieder in der Nacht zu einem zweiten geringeren Höhepunkt kurz nach Mitternacht zwischen 12 und 1 Uhr an, sinkt zu einem zweiten Minimum des Morgens hinab und steigt dann wieder gegen Mittag. Die Tagesperiode hat also zwei Maxima, ein grosses bei Tag und ein kleines bei Nacht, und zwei Minima, von denen das eine auf den Morgen, das andere (das kleine) auf den Nachmittag fällt.'' — Um dem in meiner Abhandlung verfolgten Gedankengange treu zu bleiben, lasse ich sogleich Caspary's 11., 12., 13. Satz folgen:

11) ,,Die tägliche Periode des Lichts hat keinen nachweisbaren Einfluss auf die Periode des Wachsthums des Blattes, denn durch künstliche Veränderung der täglichen Periode der Wärme kann es bewirkt werden, dass das Blatt bei Tage zur Mittagszeit, wenn das Licht am stärksten ist, am wenigsten wächst[1]), und dass das Maximum des Wachsthums auf jede beliebige Stunde der Nacht, zur Zeit gänzlicher Finsterniss fällt. Das Licht bewirkt keine Ausdehnung der Zellen, sondern Stoffwechsel in ihnen.''

12) ,,Das grosse Maximum der Periode des Wachsthums des Blattes hängt vom Maximum der Periode der Wärme, hauptsächlich der des Wassers

1) In diesem Satze stecken zwei Fehler; erstens ein logischer, insofern es unlogisch ist, zu sagen, das Licht habe keinen Einfluss auf das Wachsthum, weil ein anderes Agens des Wachsthums beeinflusst, und zweitens enthält der Satz implicite die sehr zweifelhafte Annahme, als ob das Licht das Wachsthum unmittelbar begünstigen müsse.

ab. Durch Heitzung kann es bewirkt werden, dass das Blatt zu jeder beliebigen Tages- und Nachtstunde am stärksten wächst. Die Wärme wirkt unmittelbar auf die Ausdehnung der Zellen, nicht mittelbar durch Erzeugung von Verdunstung."

13) „Die Erhebung des Wachsthums bei Nacht kann jedoch weder aus der Periode der Wärme, noch aus der eines anderen Agens abgeleitet werden und seine Ursache ist im Leben der Pflanze selbst zu suchen."

Um mir nun zunächst ein eigenes Urtheil über die Ergebnisse von CASPARY's Beobachtungen zu ermöglichen, habe ich, wenn auch nicht alle, doch die wichtigeren Tabellen seiner Abhandlung auf Coordinaten übertragen.

Was zunächst die beliebige Veränderung der Tagesperiode des Wachsthums durch Heitzung des Wassers zu verschiedenen Zeiten betrifft, so kann ich einen recht strengen Beweis dafür in den Tabellen VIII., IX., X., XI. nicht finden, mehrfach kommt es vor, dass grade bei höherer Temperatur des Wassers und der Luft das Wachsthum geringer ist und ferner dass einem Fallen der Temperaturcurve ein gleichzeitiges Steigen der Wachsthumscurve und umgekehrt entspricht; die Schwierigkeit, eine so grosse Wassermasse gleichmässig zu erwärmen und abzukühlen mag hier eine wie scheint unbeachtete Fehlerquelle sein. Indessen würde ich nach allen sonst bekannten Thatsachen ohnehin nicht zweifeln, dass bei hinreichend starken Temperaturschwankungen die Wachsthumscurve der Wärmecurve folgt. In sofern bin ich also, trotz CASPARY's mangelhaftem Beweise, mit seinem Satze einverstanden.

Versucht man es nun ferner, die tägliche Periode des Wachsthums aus den stündlichen Beobachtungen in der graphischen Darstellung zu erkennen, so gelingt es kaum, etwas zu erkennen, was den Angaben in CASPARY's Satz 4. entspricht; ich finde vielmehr ein äusserst unruhiges Auf- und Abschwanken der Zuwachscurven, die ich nach seiner Tabelle III. entworfen habe; diese unregelmässigen Zacken der Curve zeigen keine oder doch nur gelegentliche Beziehung zum Verlauf der Temperaturcurve. Die im Satz 4. beschriebene Tagesperiode kann ich in CASPARY's eigenen Beobachtungen also nicht bestätigt finden.

Hat man jedoch die Zuwachscurven vor sich, und zieht man von einer der tiefsten Einbuchtungen derselben am Abend eine grade Linie zu einer der höchsten Ausbuchtungen am Morgen oder Vormittag, und von hier wieder zu einer abendlichen Einbuchtung, so erkennt man, trotz der zwischenliegenden Zacken, eine einfache Tagesperiode der Art, dass das Wachsthum vom Abend bis zum Vormittag unregelmässig steigt, von da bis zum Abend ebenso sprungweise fällt, also im Ganzen etwas Aehnliches, wie es in unseren Tafeln V., VI., VII. ausgedrückt ist. Ohne Weiteres aber tritt diese Aehnlichkeit hervor, wenn man CASPARY's Tabelle VII. (p. 135) als Curve verzeichnet; diese zeigt ganz einfache Schwingungen der Art, dass eine höchste Erhebung auf den Mittag, eine tiefste Senkung auf Mitternacht

fällt; da es sich hier aber um 6stündige Mittel handelt, so darf man auf die Stunde des Maximums und Minimums nicht allzuviel Gewicht legen; bei dreistündigen Mitteln würden diese Zeiten sich gewiss anders herausstellen, genug dass wir so eine einfache Wachsthumscurve bekommen, deren Gang dem der von mir gefundenen weit mehr entspricht, als die Angaben in Satz 4., völlige Uebereinstimmung ist ja bei den Bedingungen unter denen Caspary beobachtete, ohnehin nicht zu erwarten.

Was endlich den Einfluss des Lichts auf die tägliche Periode betrifft, so ist zunächst nochmals auf meine Anmerkung zu Caspary's Satz 11. hingewiesen. Den gerügten logischen Fehler beiseite gesetzt, kann es sich fragen, ob das Licht auf das Wachsthum des Blattes der Victoria beschleunigend oder verzögernd einwirkt, da es Blätter giebt, die im Finstern kleiner bleiben, andere die im Finstern wenigstens länger werden als im Licht. Aber auch angenommen, dass ein Blatt in dauernder Finsterniss kleiner bleibt als im Licht, ist doch denkbar, dass es bei dem Wechsel von Tag und Nacht durch das Licht jedesmal retardirt, durch die temporäre Dunkelheit im Wachsthum beschleunigt wird; für letzteres spricht sogar der Umstand, dass das Wachsthum des Victoriablattes Nachts wirklich eine, wenn auch höchst unregelmässige, sprungweise Hebung erkennen lässt, wie Caspary (Satz 13) selbst angiebt.

Wenn ich nach dem Allen in Caspary's Angaben auch keineswegs eine Bestätigung und Stütze meiner eigenen Resultate finden möchte (einer solchen bedürfen sie, wie ich glaube, nicht), so zeigt sich doch, dass seine Resultate durch meine Untersuchungen einer anderen, als der von ihm selbst gegebenen Deutung fähig sind.

Hervorzuheben ist noch, dass Caspary der Luftfeuchtigkeit und der Transpiration keinen Einfluss auf das Wachsthum des Victoriablattes zuschreibt, was unter den obwaltenden Bedingungen wohl gewiss zu erwarten ist; auch der wechselnde Barometerstand habe keine nachweisbare Bedeutung für das Wachsthum.

A. Weiss[1]) wurde im Frühjahr 1864 durch die Entwickelung eines Blüthenschaftes von Agave Jacquiniana Schult (A. lurida Jacq.) in Lemberg veranlasst, Längenmessungen (mittels ,,eines Zeigerapparates der einfachsten Form'') zu machen, die er täglich dreimal, 6 Uhr Morgens, 12 Mittags, 11 Abends vornahm; zu denselben Zeiten wurde auch die Temperatur beobachtet, die Luftfeuchtigkeit täglich nur einmal bestimmt.

Bezüglich der grossen Periode sagt er; ,,Entgegen früheren Angaben[2]) war bei unserer Agave die grösste Längenentwickelung des Schaftes durchaus nicht im Anfang seines Emporsteigens; vielmehr war dasselbe während

1) Weiss in Karsten's botanischen Untersuchungen Heft II. 1866 p. 129.

2) Weiss citirt jedoch nur de Vriese und Martius' Beiträge zur Natur- und Literargeschichte der Agaven. München 1855.

der ersten Wochen ein nur geringes im Verhältniss zu dem raschen Aufschiessen der letzten Wochen vor der Entfaltung der ersten Blüthen (was übrigens auch de Vriese bereits angiebt); indess mag die erhöhte Temperatur im Mai viel dabei mitgewirkt haben" — das Wesen der grossen Periode hat er demnach nicht erkannt.

Von den am Schluss gemachten Betrachtungen führe ich nur folgende an: „das Längenwachsthum des Schaftes sei in erster Linie von der Temperatur abhängig, und steige und falle mit derselben"; dieser Satz stimmt nun aber keineswegs mit der Tabelle überein, und die danach entworfenen Curven zeigen nur sehr lockere Beziehungen zu einander. Weiss sagt freilich (p. 186): „Speciellere Beobachtungen (die aber nirgends mitgetheilt sind) haben gezeigt, dass etwa 3—4 Stunden vergehen, bis sich die Einwirkung von raschen Temperaturwechseln zu manifestiren beginnt und diess erkläre es auch, warum oft, z. B. an relativ heissen Vormittagen das Wachsthum ein geringes war, wenn etwa die vorhergehende Nacht kalt gewesen. Ich finde auch für Letzteres in der Tabelle keine Bestätigung und an sich ist der aufgestellte Satz sicherlich unrichtig[1]); wie soll man sich vorstellen, dass eine vorübergehende Temperaturschwankung erst 3—4 Stunden nachher am Wachsthum bemerklich werde? zu einer Zeit, wo die Pflanze bereits wieder einer anderen Lufttemperatur ausgesetzt ist und diese in sich aufzunehmen beginnt; alle anderen mir bekannten Beobachtungen, die in dieser Beziehung einen Schluss gestatten, zeigen nichts Derartiges, und Weiss widerlegt sich selbst, wenn er am Schlusse sagt, das Längenwachsthum sei in den Nachmittagsstunden (12 Mittag bis 10 Abends) am kleinsten, steige im Laufe der Nacht (10 Abends bis 6 früh) und sei in den Morgenstunden am grössten, am Schluss werden indessen 6 mehrtägige Perioden des Wachsthums unterschieden, wo dasselbe Nachts, dann Nachmittags, dann am Morgen, dann wieder Nachts, Morgens, Nachts vorwiegend war, denn dann müsste nach seiner Temperaturtabelle der Verlauf des Wachsthums ein wesentlich anderer sein.

Von besonderem Interesse ist es, in der Tabelle von Weiss eine ähnliche Erscheinung, wie die bereits von de Vriese beobachtete, wiederzufinden, den Stillstand des Wachsthums am Vormittag; Weiss hebt ausdrücklich hervor, dass diess nur am Vormittag stattfand, in diesem Fall ist mir seine Tabelle unverständlich, da ich dort das betreffende Zeichen (ein Strich —) auch am Nachmittag finde. Die Ursache findet er in den vorhergehenden kalten Nächten[2]), was ich gelten lasse, jedoch nicht aus dem von ihm an-

1) Etwas ganz anderes ist es, zu behaupten, dass rasch vorübergehende Temperaturschwankungen keinen genau angegebenen Effect auf das Wachsthum üben, als zu sagen, dass dieser Effect erst nach 3—4 Stunden eintrete.

2) Erst hierbei erfährt man, dass die Temperatur in den Nächten nicht selten auf 5° R. hinabsank; die tiefste in der Tabelle verzeichnete Temp. ist aber 8°; die angegebenen Temperaturen um 6 Uhr fr. scheinen also nicht die Minima zu sein.

gegebenen Grunde, dass die Temperaturwirkung immer erst 3—4 Stunden später auftritt, sondern weil ich glaube, dass die nächtliche Abkühlung des Bodens die Wurzeln unthätig machte, den Wasserzufluss in den wachsenden Stamm hinderte und so das Wachsthum unmöglich machte; dazu kam noch die retardirende Einwirkung des Lichts am Vormittag; nach Mittag konnte der neuerdings erwärmte Boden die Wurzeln zu neuer Wasseraufnahme befähigen und zugleich wurde die retardirende Lichtwirkung durch die höhere Mitteltemperatur des Nachmittags überwogen.[1])

Die übrigen Folgerungen können wir übergehen, da sie Beziehungen äusserer Agentien zum Wachsthum nicht sicherstellen.

Die neueste hier zu berücksichtigende Arbeit ist endlich die von Rauwenhoff[2]) (1867), der 1860 den Blüthenstamm von Dasylirium acrotrichum, 1866 vom Juni bis October Bryonia dioica, Wisteria chinensis, Vitis orientalis, Cucurbita Pepo, täglich dreimal, 6 Uhr Morgens, 12 Mittag, 6 Abends beobachtete, und zwar im Freien mit gleichzeitiger Notirung der Temperatur und des Wetters. — Rauwenhoff vergleicht zunächst die Gesammtzuwachse des Tags und der Nacht und findet folgende Zahlen: Es betrug in Procenten des Gesammtwachsthums ausgedrückt

	das Wachsthum	
bei	Tags	Nachts
Bryonia	59,0 %	41,0 %
Wisteria	57,8 %	42,2
Vitis	55,1	44,9
Cucurbita A	56,7	43,3
Cucurbita B	57,2	42,8
Dasylirium	55,3	44,7

Die Uebereinstimmung dieser Zahlen ist in der That auffallend und unerwartet bei so verschiedenen Pflanzen.

Vergleicht man jedoch kürzere Zeiträume, so finden sich solche, wo das nächtliche Wachsthum überwiegend war; Rauwenhoff lässt zwar die Ursache dahingestellt sein, die Betrachtung seiner Temperatur- und Wettertabelle aber zeigt deutlich genug, dass in diesen Zeiträumen, die Nachttemperatur nur wenige Grade Fahrenheit unter der Tagestemperatur lag (oder selbst höher war); diess genügte also, den das Wachsthum beschleunigenden Einfluss der Nachtdunkelheit (den R. übersieht) zur Geltung kommen zu lassen.

1) Weiss giebt nur die an den gen. Zeitpunkten beobachteten Temperaturen; zur Beurtheilung des Wachsthums muss man aber die Mittel daraus nehmen, die an sich freilich bei den grossen Zeiträumen ziemlich unsicher sind.

2) Waarnemingen over den groei van den plantenstengel by dag en by nacht (Verslagen en mededeelingen der Konink1. Akad. van wetenschappen, Afdeeling Natuurkunde 2. Reeks Deel II. Amsterdam 1867.

Das Wachsthum am Vormittag (6 Morgens bis 12 Mittag) ist geringer als das Nachmittags (12 Mittag bis 6 Abends) und zwar in dem Verhältniss

bei Bryonia	von	1 : 0,86
Wisteria	,,	1 : 0,71
Vitis	,,	1 : 0,67
Cucurbita A	,,	1 : 0,79
Cucurbita B	,,	1 : 0,81.

Auch dieses Verhältniss kann sich jedoch in verschiedenen Zeiträumen ändern; so war z. B. bei Cucurbita anfangs das Wachsthum Vormittags stärker, um später Nachmittags zuzunehmen und zwar in folgendem Verhältniss

19. Juni — 1. Juli	wie	1 : 1,81
1. Juli — 10. Juli	,,	1 : 0,77
11. Juli — 15. Juli	,,	1 : 0,66
18. Juli — 31. Juli	,,	1 : 0,86
1. Aug. — 9. Sept.	,,	1 : 0,77
10. Sept. — 20. Octbr.	,,	1 : 0,71.

Die Existenz der grossen Wachsthumsperiode für die ganze Vegetationszeit hat RAUWENHOFF richtig erkannt und gut charakterisirt: man finde in seinen Beobachtungen bestätigt, was schon andere gefunden, dass bei jeder Pflanze die Wachsthumsintensität erst zunimmt, dann ein gewisses Maximum erreicht, und (mit grossen Fluctuationen) längere oder kürzere Zeit auf einer gewissen Höhe bleibt, um darauf mehr oder minder schnell bis zum Nullpunkt zu fallen.

,,Vergleicht man die Temperaturangaben mit den Wachsthumsgeschwindigkeiten, so sieht man in der Regel das Steigen und Fallen der Temperatur gepaart gehen mit dem Zu- und Abnehmen der Wachsthumsintensität.'' Ich habe auch RAUWENHOFF's ausserordentlich zahlreiche Angaben graphisch dargestellt und finde, in Uebereinstimmung mit seinem Satze, dass die Temperatur- und Wachsthumscurven in dem Grade gleichsinnig laufen, als es bei Beobachtungen im Freien überhaupt zu erwarten ist.

Zum Schluss nenne ich einfach diejenigen Publicationen, in denen zwar Wachsthumsmessungen mitgetheilt sind, die aber keine oder nur ganz ungenügende Temperaturangaben, oder Angaben über sonstige Wachsthumsbedingungen enthalten; dergleichen Mittheilungen geben Räthsel auf, ohne etwas zur Lösung wissenschaftlicher Aufgaben beizutragen.

SEITZ, Ueber Agave americana (Verhandl. des Vereins zur Beförd. des Gartenbaues in den preuss. Staaten 1832 p. 57).

GRAEFE, Ueber den Blüthenstamm der Littaea geminiflora (Flora 1843 p. 36).

WALLICH's Schreiben an MARTIUS betreffend Messungen am Stamm von Bambusen (Flora 1848 p. 510).

DUCHARTRE: Messungen an Blättern von Colocasia antiquorum (Ann. des sciences nat. T. XII. p. 270. — 1859).

Ch. Martins, Beobachtungen über Dasylirion gracile und Phormium tenax (mit Beachtung der grossen Periode (Floraison en pleine terre du Dasylirion gracile. Montpellier 1866).
Duchartre: Observations sur l'acor. de quelques pl. pendant le jour et pendant la nuit (in Comptes rendus de l'Acad. des sc. 1866 p. 820).

Würzburg, den 18. August 1871.

Erklärung der Tafeln.

Die Construction und Bedeutung der Curven wird durch den Text und die zugehörigen Tabellen im Allgemeinen hinreichend verständlich sein; es erübrigt nur noch, einige Bezeichnungen zu erklären.

Die Temperaturcurven sind überall durch unterbrochene Linien bezeichnet: t^0 *C.* und t^0 *R.* bedeutet dabei, dass die Temperatur nach der Celsius'schen, resp. Reaumür'schen Theilung des Thermometers gemessen ist: $st t^0$ bedeutet, dass die Curve nach den stündlichen Temperaturbeobachtungen am Tage construirt ist. — Die neben der Abscissenlinie links stehende Bezeichnung 10^0, 12^0 u. s. w. bedeutet, dass die Temperaturen in Zehntelgraden oberhalb dieses Grades über der Abscissenlinie verzeichnet sind.

Die Curve der grossen Periode des Wachsthmus ist auf Tafel I. für die grüne Pflanze durch eine einfache starke Linie *gr.*, *gr.*, für die etiolirte Pflanze durch die Doppellinie *ét*, *ét* bezeichnet; auf Tafel II. bedeuten die Doppellinien die grossen Zuwachsperioden.

Mit Ausnahme von Taf. I. sind die Curven der stündlichen, drei- oder mehrstündigen Zuwachse überall durch starke einfache Linien *z* bezeichnet; auf Tafel V., VI., VII. bedeutet *stz* die Curve der stündlichen, $3\,z$ die der dreistündigen Zuwachse; die Doppellinien mit der Bezeichnung $\frac{3\,z}{t-10}$ sind nach den Werthen der ebenso bezeichneten Columnen der betreffenden Tabellen construirt; der Ausdruck $\frac{3\,z}{t-10}$ bedeutet, dass der dreistündige Zuwachs durch die zugehörige dreistündige Mitteltemperatur weniger 10^0 dividirt worden ist.

IV.

Längenwachsthum der Ober- und Unterseite horizontalgelegter sich aufwärts krümmender Sprosse.

Von

Dr. Julius Sachs.

In meinem Handbuah der Experimentalphysiologie der Pflanzen (1865. p. 507—509) habe ich gezeigt, dass die Aufwärtskrümmung horizontal (oder schief) gelegter Sprosse auf verschiedenem Längenwachsthum der Ober- und Unterseite beruht, dass die Gewebeschichten der unteren, convex gewordenen Seite nach vollständiger Isolirung länger sind und bleiben, als die gleichnamigen Gewebeschichten der concaven Oberseite. — Für die Theorie der Aufwärtskrümmung ist es aber wichtig, nicht bloss das Wachsthumsverhältniss der Ober- und Unterseite unter sich zu kennen, sondern auch zu wissen, wie sich das Wachsthum beider Seiten verhält zu dem Wachsthum derselben Gewebeschichten im normalen aufrechten Zustande; mit anderen Worten, es ist die Frage zu lösen, *ob durch die horizontale (oder schiefe) Lage eines sonst aufrecht wachsenden Sprosses, das Wachsthum auf der Unterseite absolut beschleunigt, auf der Oberseite absolut verlangsamt wird?* — Meine im Sommer 1870 und im Frühjahr 1871 gemachten Untersuchungen haben diese Frage vollständig und ausnahmslos bejaht und ausserdem neue Thatsachen für die Theorie der Aufwärtskrümmung ergeben.

Die Versuche wurden einerseits an solchen Stengeln gemacht, bei denen das wachsende und daher der Aufwärtskrümmung fähige Stück eine beträchtliche Länge besitzt, anderseits mit den Halmen von Gramineen, wo die Fähigkeit der Aufwärtskrümmung auf die als Knoten bezeichneten kurzen Querzonen beschränkt ist.

I. *Versuche mit Stengeln, deren krümmungsfähiger Theil eine beträchtliche Länge (5—20 Ctm.) besitzt.* Von im Freien kräftig vegetirenden Pflanzen wurden eine grössere Zahl senkrecht aufwärts wachsender Sprosse von möglichst gleicher Höhe und Dicke, überhaupt von gleichem Aussehen, sehr sorgfältig ausgesucht und abgeschnitten,

die Blätter dicht am Stengel weggenommen und die Terminalknospe sammt den obersten, noch sehr jungen Internodien entfernt. Diese Stammstücke wurden sodann sämmtlich gleich lang gemacht und nun in vier Gruppen von gleicher Anzahl sortirt; auch diese Sortirung muss sehr sorgfältig geschehen. Die Stengelstücke der ersten Gruppe werden sofort analysirt, d. h. es werden von ihnen Rindenstreifen und Markstreifen mittels eines scharfen Messers hergestellt und jeder Streifen sogleich gemessen, in den folgenden Tabellen sind die Längen in der mit „frisch" überschriebenen Columne enthalten. — Die Stücke der zweiten Gruppe werden in einen geräumigen, mit Deckel gut verschliessbaren Zinkkasten eingeschlossen; der Boden desselben ist mit feuchtem Sand bedeckt, der an einer Seite wallartig aufgehäuft ist; in diesen Sandwall werden die Stücke mit ihrem dickeren Ende horizontal so eingesteckt, dass sie frei schweben. Die Längen nach der Aufwärtskrümmung der Gewebestreifen dieser Gruppe sind in den Tabellen in der Columne eingetragen, die mit „horizontal gelegt" oder „frei horizontal" überschrieben ist. — Die Stengelstücke einer dritten Gruppe werden horizontal in den Sand des Kastens gelegt, mit einer 4—5 Ctm. dicken Lage feuchten Sandes bedeckt, auf diesen eine Glasplatte gelegt und diese mit Gewichten beschwert, um die Aufwärtskrümmung zu verhindern; in anderen Fällen werden die Stengel in offene Glasröhren von grade hinreichender Weite vollständig eingeschoben und horizontal auf den Sand gelegt, um auf diese Weise die Aufwärtskrümmung zu verhindern, in den Tabellen ist diess mit „horizontal unter Sand" oder „Im Glasrohr" bezeichnet. — Eine vierte Gruppe von Stengelstücken wird in einen Glascylinder gestellt, dessen Boden mit feuchtem Sand bedeckt ist; sie stehen darin nicht vollständig senkrecht, sondern etwas schief, an die Glaswand gelehnt; der Cylinder wird oben bedeckt und in einen finstern Raum neben dem Zinkkasten gestellt; die Längen der Gewebestreifen dieser Gruppe finden sich in den Tabellen unter der Aufschrift „aufrecht" oder „schief aufrecht."

Nachdem an den „frei horizontal liegenden" Stücken im Zinkkasten eine kräftige Krümmung eingetreten war, wurden sämmtliche Stücke aller Gruppen in der oben angegebenen Weise analysirt, die Längen der Gewebestreifen auf einem glatten Papier mit parallelen Horizontallinien angezeichnet und dann gemessen. [1]) Tabelle 1 giebt über die Einzelheiten die nöthige Auskunft, bei den anderen Tabellen sind immer nur die Mittelzahlen aufgeführt.

---

1) Da die Zerlegung der sämmtlichen Sprosse eines Versuchs oft mehr als eine Stunde in Anspruch nimmt, so darf nicht eine Gruppe nach der andern analysirt werden; ich verfuhr vielmehr so, dass der Reihe nach ein Spross der ersten, zweiten, dritten, vierten Gruppe, dann ebenso ein zweiter Spross jeder Gruppe u. s. w. vorgenommen wurde; so vertheilt sich die Zeit der Untersuchung auf die einzelnen Gruppen gleichmässig genug.

Als „Rinde" gilt im Allgemeinen eine Gewebeschicht, die sich leicht mit einem Zug des Messers, zwischen ihr und dem tieferen Gewebe hingeführt, ablösen lässt.

1.

Paeonia decora

14.—15. März. Dauer 17 Stunden.

Stengelstücke aus je drei Internodien bestehend; sämmtlich 165 lang abgeschnitten.

Länge der Gewebestreifen in Millimetern.

Gewebestreifen.	frisch.	nach 17 Stunden. horizontal gelegt.	schief aufrecht gestellt.
concave Rinde	164,5	167,3	171,8
	165,6	168,0	170,5
	164,4	166,0	170,8
Mittel	**164,8**	**167,1**	**171,0**
concaves Mark	167,0	180,0	179,8
	167,5	179,2	179,1
	167,5	179,0	178,0
Mittel	**167,3**	**179,4**	**178,9**
convexes Mark	166,5	185,0	180,5
	167,5	184,0	179,0
	167,4	183,5	179,0
Mittel	**167,1**	**184,1**	**179,5**
convexe Rinde	163,2	181,5	174,8
	163,6	180,5	172,5
	164,5	181,5	172,6
Mittel	**163,7**	**181,1**	**173,3**

Nimmt man von den frischen Stücken die mittlere Länge von oberer und unterer Rinde, oberem und unterem Mark, nämlich

Rinde = 164,2 Mill.

Mark = 167,2 Mill.

und zieht man diese von den Rinden und Marklängen der beiden letzten Columnen ab, so erhält man die

Zuwachse in Millimetern.

Gewebestreifen.	horizontal gelegt.	schief aufrecht
concave Rinde	2,9	6,8
concaves Mark	12,2	11,7
convexes Mark	16,9	12,3
convexe Rinde	16,9	9,1

Die horizontalgelegten Stücke hatten sich mit einem Krümmungsradius von 10—11 Ctm. so aufwärts gekrümmt, dass das freie Ende senkrecht aufwärts stand.

2.

Cimicifuga foetida

31. Mai—1. Juni 1870; Dauer 24 Stunden.

Die Stengelstücke bestanden aus je zwei Internodien und wurden sämmtlich 252 Mill. lang gemacht.

Die Zahlen sind Mittel aus je zwei gleichbehandelten Stengelstücken.

Längen der Gewebestreifen in Millimetern.

Gewebestreifen.	frisch.	horizontal gelegt.		schief aufrecht.
		frei liegend.	unter Sand.	
concave Rinde	257,0	257,5	257,3	273,0
concaves Mark	257,2	276,5	271,5	286,7
convexes Mark	257,2	283,0	275,0	287,7
convexe Rinde	251,0	277,5	268,3	275,0

Zuwachslängen in Millimetern binnen 24 Stunden.

Gewebestreifen.	horizontal gelegt.		schief aufrecht.
	frei liegend.	unter Sand.	
concave Rinde	6,5	6,3	22,0
concaves Mark	19,5	14,3	29,0
convexes Mark	25,8	17,8	30,5
convexe Rinde	26,5	17,3	24,0

Der krümmungsfähige Theil lag etwas vor der Mitte der Sprossstücke; bei den frei horizontal gelegten Stücken war das vordere freie Ende vollständig aufgerichtet, etwas zurückgeneigt, der Krümmungsradius [1]) der am stärksten gekrümmten Stellen betrug 5,5 Ctm., die Krümmung selbst über 100 Bogengrade. — Bei den unter Sand liegenden war, nach dem Herausnehmen der Krümmungsradius c. 15 Ctm., die Krümmung selbst c. 45 Bogengrade. — Sowohl bei den frei, wie unter Sand horizontal gelegenen Stücken blieb nach der Spaltung die untere Hälfte aufwärts gekrümmt.

---

1) Die Krümmung wurde auf einem System concentrischer Kreise von bekannten Radien gemessen.

3.

Sida Napaea.

1.—2. Mai 1870; Dauer 20 Stunden.

Die Stengelstücke bestanden aus je 6—7 Internodien und waren sämmtlich 300 Mill. lang abgeschnitten.

Die Zahlen sind Mittel aus je 4 Exemplaren.

Längen der Gewebestreifen in Millimetern.

Gewebestreifen.	frisch.	horizontal gelegt.		schief aufrecht.
		frei liegend.	unter Sand.	
concave Rinde	298,0	310,5	305,4	318,8
concaves Mark	308,8	337,5	327,1	341,5
convexes Mark	308,8	342,9	327,6	342,0
convexe Rinde	298,0	328,2	312,1	319,6

Zuwachslängen in Millimetern binnen 24 Stunden.

Gewebestreifen.	horizontal gelegt.		schief aufrecht.
	frei liegend.	unter Sand.	
concave Rinde	12,5	7,4	20,8
concaves Mark	28,7	18,3	32,7
convexes Mark	34,1	18,8	33,2
convexe Rinde	30,2	14,1	21,6

Die horizontal frei liegenden Stücke hatten unterhalb ihrer Mitte eine Krümmung von circa 90 Bogengraden bei einem Krümmungsradius von ungefähr 6 Ctm. angenommen, der hintere und vordere Theil jedes Stückes war grade geblieben; nach dem Spalten behielt die convexe Hälfte eine beträchtliche Krümmung aufwärts. — Die unter Sand gelegenen Sprosse schnellten nach Beseitigung der Belastung empor und zeigten in ihrem mittleren Stück eine Krümmung von circa 35 Bogengraden bei 24 Ctm. Krümmungsradius.

4.

Epilobium hirsutum

4.—5. Juni 1870; Dauer 24 Stunden.

Die Stengelstücke sämmtlich 215 Mill. langgeschnitten.

Die Zahlen sind Mittel aus je zwei Stücken.

Länge der Gewebestreifen in Millimetern.

Gewebestreifen.	frisch.	horizontal gelegt.		aufrecht.
		frei horizontal.	in Sand.	
concave Rinde	243,8	247,2	246,0	249,7
concaves Mark	252,8	256,8	256,0	261,2
convexes Mark	252,8	260,7	257,2	261,2
convexe Rinde	243,8	257,5	250,5	249,7

Zuwachslängen in Millimetern.

Gewebestreifen.	horizontal gelegt.		aufrecht.
	frei horizontal.	unter Sand.	
concave Rinde	3,4	2,2	5,9
concaves Mark	4,0	3,2	8,4
convexes Mark	7,9	4,4	8,4
convexe Rinde	13,7	6,7	5,9

5.

Epilobium hirsutum.

9.—10. Juni 1870, 24 Stunden Versuchsdauer.

Stengelstücke von 5—6 Internodien, sämmtlich 300 Mill. lang; die Zahlen sind Mittel aus je 3 Exemplaren.

Längen der Gewebestreifen in Millimetern.

Gewebestreifen.	frisch.	horizontal gelegt.		schief aufrecht.
		frei horizontal.	im Glasrohr.	
concave Rinde	298,0	299,0	300,0	301,5
concaves Mark	305,0	311,5	311,0	310,0
convexes Mark	305,0	313,7	311,7	310,0
convexe Rinde	298,0	318,0	304,2	302,0

Zuwachslängen in Millimetern.

Gewebestreifen.	horizontal gelegt.		schief aufrecht.
	frei horizontal.	im Glasrohr.	
concave Rinde	1,0	2,0	3,5
concaves Mark	6,5	6,0	5,0
convexes Mark	8,0	6,0	5,0
convexe Rinde	11,0	7,2	4,0

Die frei horizontal gelegten Stücke waren im 3. Viertel ihrer Länge (von hinten) in einem Bogen von 90° aufwärts gekrümmt; die aus den Glasröhren herausgezogenen schnellten ein wenig aufwärts und behielten eine schwache Krümmung.

6.

Staphylea pinnata.

6.—7. Juni 1870; Dauer 24 Stunden.

Die Sprossabschnitte bestanden aus je zwei Internodien und waren 220 Mill. lang gemacht. — Die Zahlen sind Mittel aus je zwei Exemplaren.

Längen der Gewebestreifen in Millimetern.

Gewebestreifen.	frisch.	horizontal gelegt.		aufrecht.
		frei horizontal.	im Glasrohr.	
concave Rinde	217,5	219,5	220,8	221,5
concaves Mark	236,2	236,8	238,5	245,0
convexes Mark	236,2	240,7	240,2	238,0
convexe Rinde	217,5	228,0	224,2	220,0

Zuwachslängen in Millimetern.

Gewebestreifen.	horizontal gelegt.		aufrecht.
	frei horizontal.	unter Sand.	
concave Rinde	2,0	3,3	4,0
concaves Mark	0,6 (?)	2,3	8,8
convexes Mark	4,5	4,0	1,8
convexe Rinde	10,5	6,7	2,5 (?)

Die Krümmung der frei liegenden Stücke erfolgte im vorderen Viertheil ihrer Länge und war weniger als 90°; diess, der geringe Zuwachs

und die Schwierigkeit der Trennung der Gewebestreifen bedingt einzelne Unsicherheiten der Messungsresultate (vergl. Tabelle rechts unten).

7.

Ambrosia trifida.

16.—17. Juni 1870; Dauer 20 Stunden.

3 Sprossabschnitte von je 3—4 Internodien, 268 Mill. lang gemacht. Jede Zahl giebt die Länge des Gewebestreifens von nur einem Spross.

Längen der Gewebestreifen.

Gewebestreifen.		frisch.	horizontal.	aufrecht.	Zuwachs in Mill.	
					horizontal.	aufrecht.
concave Seite	Rinde	265	270	282	5	17
	Holz	265	272	283	7	18
	Mark	283	297	304	14	21
convexe Seite	Mark	283	297	304	14	21
	Holz	265	283	283	18	18
	Rinde	265	285	282	20	17

Der horizontal gelegte Spross hatte sich im vorderen Drittel seiner Länge aufrecht gekrümmt.

8.

Helianthus argyrophylla.

20.—21. Juni 1871; Dauer 19 Stunden.

Die 237 Mill. lang geschnittenen Sprossabschnitte bestanden aus 3—4 Internodien; vor dem Versuch, d. h. bevor ihnen genannte Länge gegeben wurde, hatten die Sprosse eine Stunde im Wasser gelegen.

Die Zahlen sind Mittel aus je drei Exemplaren.

Längen der Gewebestreifen.

Gewebestreifen.		frisch.	horizontal im Glasrohr.	aufrecht.	Zuwachse	
					horizontal im Rohr.	aufrecht.
concave Seite	Rinde	235,2	238,8	244,7	3,6	9,5
	Mark	254,5	255,8	263,8	1,3	9,3
convexe Seite	Mark	254,0	256,3	264,8	2,3	10,8
	Rinde	237,5	244,3	248,3	6,8	10,8

Die horizontal in den Glasröhren gelegenen Stücke krümmten sich bei dem Herausziehen aus denselben aufwärts; die aufrecht gestellten zeigten Nutationen nach verschiedener Richtung seitwärts.

9.

Ailanthus glandulosa.

22.—23. Juni 1870; Dauer 17 Stunden

Von sehr kräftigen Wurzelschösslingen, die vorher eine halbe Stunde im Wasser gelegen hatten, wurden Stücke aus 4—5 Internodien bestehend in der Länge von 262 Mill. abgeschnitten.

Die Zahlen sind Mittel aus je drei Exemplaren.

Längen der Gewebestreifen in Millimetern.

Gewebestreifen.	frisch etwas gekrümmt.	horizontal gelegt.		schief aufrecht.
		frei liegend.	im Glasrohr.	
concave Rinde	258,7	264,0	266,0	268,3
concaves Mark	275,7	284,7	283,0	284,7
convexes Mark	276,2	289,3	284,0	285,7
convexe Rinde	259,0	278,5	271,3	271,0

Zuwachslängen in Millimetern.

Gewebestreifen.	horizontal gelegt.		schief aufrecht.
	frei horizontal.	im Glasrohr.	
concave Rinde	5,3	8,3	9,6
concaves Mark	9,0	7,3	9,0
convexes Mark	13,1	7,8	9,5
convexe Rinde	19,5	12,3	12,0

Die frei horizontal gelegten richteten sich in einem Bogen von circa 120° auf mit einem Krümmungsradius von circa 90 Ctm. — Die schief aufrechten und aus den Glasröhren hervorgezogenen waren sehr schwach gekrümmt.

10.

Inula Helenium.

29. Juni—1. Juli 1871; Dauer 48 Stunden.

Je 5—7 Internodien umfassende Stücke wurden 185 Mill. lang gemacht.

Die Zahlen sind Mittel aus je zwei Exemplaren.

Längen der Gewebestreifen in Millimetern.

Gewebestreifen.	frisch.	horizontal gelegt.		schief aufrecht.
		frei liegend.	im Glasrohr.	
concave Rinde	184,0	186,0	186,6	189,0
mittleres Mark	193,0	201,0	200,0	201,0
convexe Rinde	184,0	197,0	196,5	191,0

Zuwachslängen in Millimetern.

Gewebestreifen.	horizontal gelegt.		schief aufrecht.
	frei liegend.	im Glasrohr.	
concave Rinde	2,0	2,5	5,0
mittleres Mark	8,0	7,0	8,0
convexe Rinde	13,0	12,5	7,0

Die aus den Glasröhren genommenen Stücke krümmten sich fast ebenso stark wie die horizontal frei gelegenen, in einem Bogen von etwa 45°.

11.

Clematis recta.

14.—16. April 1871; Dauer 48 Stunden.

Je drei Internodien umfassende Stücke wurden 141 Mill. lang gemacht. Die Zahlen sind Mittel aus je drei Exemplaren.

Längen der Gewebestreifen in Millimetern.

Gewebestreifen.	frisch.	horizontal gelegt.		schief aufrecht.
		frei liegend.	im Glasrohr.	
concave Rinde	139,7	141,2	141,9	143,4
concaves Mark	142,9	148,4	147,8	149,8
convexes Mark	142,9	150,0	149,1	150,2
convexe Rinde	139,7	145,4	144,0	139.7

Zuwachslängen in Millimetern.

Gewebestreifen.	horizontal gelegt.		schief aufrecht.
	frei liegend.	im Glasrohr.	
concave Rinde	1,5	2,2	3,7
concaves Mark	5,5	4,9	6,9
convexes Mark	7,1	6,2	7,3
convexe Rinde	5,7	4,3	4,8

Die frei horizontal gelegten Stücke bildeten am vorderen Drittel einen Bogen von 40°, bei circa 8 Ctm. Krümmungsradius; die aus dem Rohr genommenen waren nur wenig, mit einem Radius von 14 Ctm. gekrümmt.

12.

Scrophularia orientalis.

22.—24. April 1871; Dauer 46 Stunden.

Von sehr kräftigen Sprossen (eines Wurzelstockes) wurden Stücke von 3—4 Internodien 172 Mill. lang geschnitten.

Die Zahlen sind Mittel aus je drei Exemplaren.

Längen der Gewebestreifen in Millimetern.

Gewebestreifen.	frisch.	hori-zontal gelegt.	untere 60° schief aufrecht.
concave Rinde	170,5	172,7	174,2
concaves Mark	176,6	183,8	184,1
convexes Mark	176,3	185,7	186,2
convexe Rinde	169,5	182,7	180,1

Zuwachslängen in Millimetern.

Gewebestreifen.	hori-zontal.	schief aufrecht.
concave Rinde	2,7	4,2
concaves Mark	7,4	7,7
convexes Mark	9,3	10,8
convexe Rinde	12,7	10,1

Die horizontal gelegten hatten sich beinahe der ganzen Länge nach gekrümmt; Krümmungsradius ungefähr 11 Ctm., Bogen fast 90°; — die schief aufrechten vorwiegend im unteren Drittel gekrümmt mit ungefähr 15 Ctm. Radius.

Aus den 12 Tabellen ist Folgendes zu entnehmen:

1) Bei der Aufwärtskrümmung eines frei horizontal gelegten Sprosses wächst von je zwei gleichnamigen Gewebestreifen immer der der unteren, convexen Seite stärker, der der oberen, concaven Seite schwächer **als die gleichnamigen Gewebestreifen eines aufrechten Sprosses in derselben Zeit.**

2) Die Längendifferenz zwischen oberer Rinde und oberem Mark wird in der horizontalen Lage grösser als die Längendifferenz zwischen der

unteren Rinde und dem unteren Mark; es spricht sich diess bei Halbirung des gekrümmten Sprosses senkrecht zur Krümmungsebene darin aus, dass die concave Hälfte noch mehr concav, die convexe Hälfte weniger convex, grade, oder selbst aufwärts concav wird; durch das Wachsthum in horizontaler Lage wird also die Spannung der Gewebe auf der oberen, concaven Seite verstärkt, auf der unteren, convexen vermindert.

3) Wird ein horizontal gelegter Spross durch Bedeckung mit Sand und Belastung oder durch Einschliessung in eine Glasröhre an der Aufwärtskrümmung gehindert, so tritt bei Befreiung von dem Hinderniss sofort eine Aufwärtskrümmung ein, die aber viel schwächer ist als bei gleichen, frei horizontal gelegten Sprossen in derselben Zeit. — Die Differenzen im Längenwachsthum der einzelnen Gewebestreifen eines solchen Sprosses sind der Art nach denen eines frei aufwärts gekrümmten gleich, der Quantität nach geringer, der geringeren Aufwärtskrümmung entsprechend. — Die Thatsache, dass ein horizontal gelegter und an der Aufwärtskrümmung gehinderter Spross bei der Befreiung von dem Hinderniss sofort emporschnellt, zeigt, dass auch in der erzwungenen graden Lage die Ursachen der Aufwärtskrümmung thätig sind; die Thatsache aber, dass die Krümmung eines solchen Sprosses viel geringer ist als bei einem horizontalen, der sich frei aufrichten kann, zeigt ferner, dass die Ursachen der Aufwärtskrümmung in einem unbeweglich gemachten Spross nicht zur vollen Geltung kommen; mit anderen Worten, die Beweglichkeit eines frei horizontal gelegten Sprosses ist eine der Ursachen, welche die Beschleunigung des Wachsthums auf der Unterseite und die Verminderung desselben auf der Oberseite begünstigen.

II. Versuche mit Grashalmen (Triticum, Dactylis glomerata, Glyceria spectabilis, Andropogon niger, Zea Mais). Die Internodien der Gräser verlängern sich intercalar an ihrer Basis über dem Diaphragma, welches die Hohlräume zweier über einander stehender Glieder trennt; diese Stelle des Stengels ist von einer ringförmigen, polsterartigen Aufschwellung der Basis der Blattscheide dicht umhüllt, diese allein bildet den äusserlich wahrnehmbaren Knoten. Oberhalb der Knoten eines aufrechten Halmes, soweit derselbe entfaltete Blätter besitzt, wachsen die Internodien sowie die Blattscheiden nicht mehr; steckt man ein Stück eines solchen Halmes frei horizontal schwebend in feuchten Sand innerhalb eines Zinkkastens, wo feuchte Luft und tiefe Finsterniss herrschen, so bleiben die Internodien und Blattscheiden grade, der Knoten aber bildet nach 2, 3, 4 Tagen ein scharfes Knie, so dass das freie Ende des Halmstückes emporgerichtet wird, meist unter einem spitzen Winkel mit dem Horizont, zuweilen vertical. Die Krümmung vollzieht sich allein in der Querzone, welche äusserlich durch die Anschwellung der Scheidenbasis bezeichnet ist. Vergleicht man einen solchen gekrümmten Knoten mit einem gleich alten nicht gekrümmten, so nimmt man ohne Weiteres wahr, dass die

convexe untere Seite desselben viel stärker gewachsen, verlängert ist, als der aufrecht gebliebene Knoten, nicht selten 3—5mal so stark. Hatte nun das Halmstück so lange horizontal stecken lassen, bis die Aufkrümmung sich nicht weiter verstärkte, und dreht es dann um, so dass die concave Seite abwärts liegt, dann wächst in den nächsten Tage auch diese stärker und zwar so lange, bis der Knoten oben und unten gleich lang, das Halmstück also grade ist; der Knoten ist nun ringsum so lang, wie am Ende des ersten Versuchs die Unterseite, also viel länger als ein aufrecht gebliebener Knoten. Es zeigt diess auch, dass das verstärkte Wachsthum der Unterseite des Knotens eine Grenze hat; denn hatte man das Halmstück in der ersten Lage so lange belassen, bis keine weitere Verstärkung der Krümmung eintrat, so krümmt er sich in der zweiten Lage nicht mehr aufwärts, sondern er wird nur grade, das Längenwachsthum ist damit erschöpft.

Besichtigt man die Ober- und Unterseite eines stark gekrümmten Knotens mit blossem Auge oder mit der Lupe, so bemerkt man, dass die convexe Seite des ringförmigen Scheidenpolsters glatt, glänzend, durchscheinend ist; dagegen erscheint die concave Oberseite dunkel, opak, rauh; letzteres rührt von sehr feinen Querfalten her, welche auf dem Längsschnitt unter dem Mikroskop deutlich und zahlreich hervortreten: sie werden nicht bloss von der Epidermis, sondern auch dem unterliegenden Parenchym gebildet. Ist die Oberfläche des Knotenpolsters, wie bei Andropogon niger, behaart, so bemerkt man die Haare auf der convexen, verlängerten Seite weit aus einander gerückt, auf der kurzen concaven Seite dicht zusammengedrängt.

Ausser der Querfältelung zeigt die Oberseite gekrümmter Grasknoten gewöhnlich noch eine querliegende Einknickung, bald in der Mitte, bald am Rand des Knotens. Beide Erscheinungen führen zu dem Schluss, dass die Oberseite bei der Aufwärtskrümmung passiv zusammengedrückt wird, als ob man das Halmstück an beiden Enden gefasst hätte und es in der Querzone des Knotens krümmen und knicken wollte. Dieses Verhalten sowohl wie auch die augenscheinliche sehr geringe Länge des gekrümmten Knotens auf der Oberseite brachten mich auf den Gedanken, es könne mit dem starken Wachsthum der Unterseite gradezu eine Verkürzung der Oberseite verbunden sein, eine Vermuthung, die sich vollkommen zu bestätigen scheint, obgleich die hier möglichen Messungen nach Maassgabe des Objects nicht sehr genau sein können. Zur Messung der Knotenflächen verwendete ich einen schmalen Papierstreifen, an dessen Rand eine Millimetertheilung mit Bleistift angebracht war; die Knoten verschiedener Halmstücke wurden nun unmittelbar nach dem Abschneiden damit auf zwei gegenüber liegenden Seiten gemessen, indem das Papier dicht aufgelegt wurde; die Längen aufgeschrieben und dann das Halmstück mit der einen gemessenen Seite horizontal nach unten, mit der andern also nach oben gelegt. Als nach einigen

Tagen die Krümmung bedeutend geworden war, wurde die Ober- und Unterseite wieder mit dem Papierstreifen gemessen und Sorge getragen, dass dieser sich überall der concaven Seite anschmiegte. Da die Grenze des Knotens oben und unten (bezüglich der vertikalen Pflanze) nicht immer scharf ist, so wurde sie anfangs durch einen feinen Tuschestrich markirt. Bei diesem Verfahren findet man in der That eine Verkürzung der Oberseite an dem gekrümmten Knoten, die so bedeutend ist, dass ich sie trotz der unvollkommenen Messungsmethode doch nicht für einen Irrthum halten kann. Diese Versuche wurden mit Halmstücken von dünnstengeligem Cinquantinomais und von dickstämmigem Pferdezahnmais gemacht; die Pflanzen waren etwa 1—1,5 Meter hoch, die männlichen Blüthen soeben oder noch nicht zum Vorschein gekommen. Der kleinere Durchmesser des (im Querschnitt elliptischen) Knotens, der bei der horizontalen Lage aufrecht stand, betrug bei der dünnstämmigen Varietät 10—12 Mill., bei der anderen 26—30 Mill.

Cinquantinomais.

Halmstücke mit einem Knoten in der Mitte; vom 21.—27. Juli 1871 in feuchtem finsterm Raum horizontal in Sand gesteckt.

	Länge des Knotens vor	nach der Krümmung.
No. I.		
Oberseite	— 4,3 Mill.	—2,5 Mill.
Unterseite	— 4,1 ,,	—9,0 ,,
No. II.		
Oberseite	— 4,0 ,,	—3,0 ,,
Unterseite	— 5,0 ,,	—11,0 ,,
No. III.		
Oberseite	— 5,0 ,,	—1,5 ,,
Unterseite	— 5,0 ,,	—12,5 ,,

Pferdezahnmais (ebenso behandelt).

No. IV.		
Oberseite	— 3,6 Mill.	— 3,0 Mill.
Unterseite	— 4,0 ,,	—16,0 ,,
No. V.		
Oberseite	— 4,0 ,,	—3,5 ,,
Unterseite	— 4,0 ,,	—20,0 ,,
No. VI.		
Oberseite	— 3.7 ,,	—3,7 ,,
Unterseite	— 3,0 ,,	—14,0 ,,

Die mikroskopische Untersuchung radialer Längsschnitte von gekrümmten Grasknoten lässt auch ohne Messung sofort erkennen, dass die Zellen der

Unterseite beträchtlich in die Länge gewachsen sind: die Parenchymzellen zwischen den Strängen, sowie die Epidermiszellen sind in Richtung der Längsaxe verlängert, hyalin, reich an Zellsaft, relativ arm an Protoplasma und Körnchen; die der Oberseite sind dagegen querliegende Tafeln, deren Längsdurchmesser viel kürzer ist als der radiale; der enge Zellraum ist mit Protoplasma und körniger, opaker Substanz erfüllt; diese kleinen Zellen der Oberseite verhalten sich also zu den grossen der Unterseite wie junge, nicht ausgewachsene Zellen zu alten vollkommen entwickelten. Zelltheilungen finden im Gewebe der stark wachsenden Unterseite nicht statt. — Mittels eines Hartnak'schen Ocularmikrometers habe ich ziemlich zahlreiche Messungen ausgeführt; da die Schnitte jedoch in reinem Wasser sich wellig biegen, musste Kali und Glycerin zugesetzt werden; diese Reagentien verändern jedoch das Volumen und die Form der Zellen nicht unbeträchtlich, und so kommt es, dass das Längenverhältniss der Zellen, auf diese Art gemessen, etwas kleiner ausfällt, als den Dimensionen der Ober- und Unterseite entspricht; dazu kommt, dass nicht die Epidermiszellen, sondern, der grösseren Deutlichkeit wegen die dritte oder vierte Schicht des Parenchyms gemessen wurde, deren Längendifferenz auf Ober- und Unterseite selbstverständlich etwas kleiner ist, als die der beiden Epidermisstreifen. So fand ich das Längenverhältniss der Zellen bei Andropogon niger (6 Tage horizontal gelegen, Aufkrümmung vollendet) wie 1 : 7, das der Polsterseiten selbst wie 1 : 10; — bei den oben genannten Maisstücken:

		Längenverhältniss der Zellen	der Polsterseiten
bei	No. I.	1 : 3,3	1 : 3,6
,,	No. II.	1 : 2,3	1 : 3,7
,,	No. III.	1 : 2,9	1 : 2,8
,,	No. IV.	1 : 4,7	1 : 5,3

Wie die Parenchymzellen des Knotenpolsters bleiben auch die langen Prosenchymzellen der es durchlaufenden Stränge in hohem Grade wachsthumsfähig, während sie da, wo sie aus dem Knoten in die dünne Lamelle der Scheide übergehen, fertig ausgebildet sind; Messungen an diesen Zellen sind wegen ihrer prosenchymatischen Anordnung kaum möglich, ihr jugendlicher Zustand giebt sich aber an der Weichheit ihrer Wandungen zu erkennen; sie bleiben, mit Kali behandelt, farblos, oberhalb des Knotens im dünnen Theil der Blattscheide nehmen die Wände desselben Stranges mit Kali eine intensiv gelbe Färbung an; diese sind verholzt, jene nicht.

Lässt man gekrümmte Halmstücke in absolutem Alkohol Tage lang liegen, so verschwindet die Krümmung des Polsters, die Längendifferenz der Ober- und Unterseite, nicht; zuweilen wird der Winkel, den die beiden Internodien am gekrümmten Knoten bilden, ein wenig stumpfer, zuweilen

auch nicht; es zeigt diess, dass das beträchtliche Flächenwachsthum der Zellwände nicht bloss durch Wassereinlagerung, sondern auch durch Einlagerung fester Substanz bewirkt wird.

Da ich gesonnen bin, die Untersuchungen über die Aufwärtskrümmung fortzusetzen, und das Obige nur als vorläufige Mittheilung betrachte, so enthalte ich mich hier theoretischer Auseinandersetzungen, die zugleich eine ausführliche Besprechung der einschlägigen Literatur verlangen würden.

Würzburg im Juni 1871.

V.

Ablenkung der Wurzeln von ihrer normalen Wachsthumsrichtung durch feuchte Körper.

Von

Dr. Julius Sachs.

Die bekannten Versuche KNIGHT's und JOHNSON's, welche den Einfluss der Schwerkraft auf die Wachsthumsrichtung der Wurzeln betreffen, sind in den letzten Jahren vielfach citirt, wiederholt und besprochen worden; dagegen scheinen diejenigen Untersuchungen derselben Forscher, welche die Wirkung feuchter Körper auf die Wurzelrichtung darthun, wieder ganz in Vergessenheit gerathen zu sein, obgleich DUCHARTRE 1856 die Aufmerksamkeit auf dieselben zu lenken suchte. In seiner Abhandlung: Influence de l'humidité sur la direction des racines [1]) citirt er, und wie es scheint wörtlich übersetzt, folgende Mittheilung KNIGHT's: [2]) „Einige Bohnensamen (Fève commune) wurden auf der Oberfläche der Erde in Blumentöpfen befestigt, in vier Zoll entfernten Reihen. Ein aus Holzstäbchen gemachtes Gitter wurde dann auf jeden Topf so befestigt, dass man diesem jede beliebige Stellung geben konnte, ohne dass Erde und Samen herabfielen. Die Stäbchen des Gitters waren so angebracht, dass sie die austretenden Keimwurzeln nicht hinderten. Die Töpfe wurden nun völlig umgekehrt, die Samen befanden sich somit auf der Unterseite der Erde, in welche sie nur halb eingesenkt waren. So befand sich jede austretende Keimwurzel oberwärts in Berührung mit der Erde, unterwärts mit der Luft. Durch das Bodenloch des umgekehrten Topfes wurde dann hinreichend Wasser eingeführt, um die Erde mässig feucht zu halten; nachdem die Töpfe in einem Warmhause aufgehängt waren, begannen die Samen bald zu keimen

1) DUCHARTRE im bulletin de la société Botanique de France, 28 Novbr. 1856.

2) Dieselbe wurde der Königl. Gesellschaft in London 1811 am 7. März vorgelesen und dann in: a selection from the physiological and horticultural papers London 1841 pp. 157—164 veröffentlicht. — Diese so wichtige Sammlung von KNIGHT's Schriften habe ich bisher vergeblich in Bibliotheken und antiquarischen Catalogen gesucht, ein Wiederabdruck derselben wäre sehr erwünscht.

. . . Unter diesen Verhältnissen verlängerten sich die Wurzeln horizontal längs der Unterfläche der Erde und im Contact mit dieser und nach einigen Tagen producirten sie auf ihrer Oberseite viele Seitenwurzeln, welche in die Erde eindrangen, völlig so, als ob sie durch thierischen Instinct dorthin geleitet worden wären . . . Diese Wurzeln erhoben sich bis über die Mitte der Erde in den Töpfen . . . Der Versuch wurde wiederholt, indem man so oft und so reichlich Wasser gab, dass alle Theile der Wurzeln gleichmässig feucht erhalten werden; in diesem Falle gehorchten sie vollständig dem Gesetz der Gravitation, ohne irgend wie von der über ihnen befindlichen Erde beeinflusst zu werden."

Aus Johnson's mir leider ebenfalls unzugänglicher Arbeit: The unsatisfactory nature of the theories proposed to account for the descent of the radicles etc.[1]) (1829) citirt Duchartre Folgendes: „Johnson überspannte einen breiten und kurzen Cylinder mit einem engmaschigen Netz, bildete so ein Gefäss, welches auf drei Füssen ruhte und mit Erde gefüllt wurde. In diese wurde Senf gesäet, und täglich begossen; mehrfach wiederholte Versuche ergaben folgendes sehr merkwürdige Resultat. Sobald die Keimung begonnen hatte, wuchsen die Wurzeln abwärts und zeigten sich auf der Unterseite des Netzes; aber kaum hatten sie dieses durchsetzt, als sie auch, statt ihre gewohnte Richtung zu verfolgen, bei einer Länge von circa $^1/_4$ Zoll jedesmal (invariablement) anfingen, sich aufwärts zu wenden, um die Erde wieder zu erreichen; oft krochen sie längs der Unterfläche derselben hin oder sie durchbohrten das Netz zwei- oder dreimal" . . . .[2]) Ferner: „Ein Schwamm wurde in der Mündung eines Bierglases befestigt und seine Oberfläche mit dem Rande desselben gleich abgeschnitten. Einige vorher wohl eingeweichte Senfsamen wurden ein wenig unter die Oberfläche des Schwammes eingesenkt, um ihre ganze Oberfläche feucht zu erhalten. Diese Vorrichtung wurde nun im Garten aufgehängt, die Oeffnung des Glases nach unten gekehrt und täglich befeuchtet. In vier Tagen hatten 12 Samen gekeimt und drei derselben waren mit ihrer Wurzel von unten nach oben in den Schwamm gewachsen. Die Wurzeln der anderen neun verlängerten sich anfangs abwärts, dann aber suchten alle mehr oder weniger von der Feuchtigkeit des Schwammes zu profitiren, in dem sie längs seiner Unterfläche hinliefen." Endlich brachte Johnson 3 Centimeter unter den Rand eines grossen Bierglases, mittels eines Eisendrahtringes ein Netz an, über welchem der Raum mit Erde gefüllt wurde; in diese säete

1) H. Johnson in Edinburgh new philosophical Journal Octbr. 1828 — März 1829 pp. 312—317. — Ein Referat dieser Arbeit findet sich auch in Linnaea V. 1830 pp. 145—148, aber wie es scheint, ungeschickt übersetzt, eine wichtige Stelle p. 146 ist gradezu unverständlich.

2) Letzteres nach der Linnaea l. c. Duchartre sagt: dans deux ou trois cas. — Obiges passt besser zu meinen eigenen Versuchen.

er Senf; bei dieser Einrichtung, fährt Duchartre in dem Citat fort, wurde die im unteren Theil des Glases eingeschlossene Luft bald mit Wasserdampf gesättigt, da sie sich beständig in Berührung mit der feuchten Erde oder selbst mit dem durchgetropften Wasser befand. Als nun die Wurzeln aus der Erde in diese Luft eintraten, erfuhren sie keine Einwirkung, welche ihre natürliche Tendenz nach unten verändern konnte; so verlängerten sie sich denn auch vertical abwärts, ohne irgend wie von ihrer normalen Richtung abzuweichen.

Mit Recht weist Duchartre die Einwendungen, welche man gegen diese Resultate aus Duhamel's und Dutrochet's Versuchen entnehmen könnte, zurück; diejenigen Duhamel's können schon ihrer Methode nach hier kaum in Betracht kommen [1]) und von den beiden Versuchen Dutrochet's berechtigt keiner zu der von ihm gezogenen Folgerung: que les racines n'ont aucune tendence vers les corps humides. [2]) Er liess nämlich einmal Bohnen in einer mit Erde gefüllten Schachtel, deren Boden durchlöchert war, und welche er hoch in freier Luft aufgehängt hatte, keimen; die durch die Löcher ausgetretenen Keimwurzeln verlängerten sich nur wenig und vertrockneten bald, offenbar in Folge zu starker Verdunstung in der zu trockenen Luft. Bei dem anderen Versuch wuchs die Wurzel einer Bohne zwar weiter aber senkrecht abwärts, weil die Luft in dem Recipienten offenbar mit Dampf gesättigt war, und so der daneben befindliche feuchte Schwamm eben keine Wirkung äussern konnte; denn es geht schon aus den Ursachen Knight's und Johnson's, noch mehr aber aus meinen eigenen Untersuchungen hervor, dass, wie im Voraus zu erwarten ist, eine Ablenkung der Wurzeln von ihrer normalen Richtung nur dann eintritt, wenn sie auf der einen Seite einer grösseren Feuchtigkeit ausgesetzt sind als auf der anderen.

Duchartre hat die grosse Bedeutung der von ihm wieder an das Licht gezogenen Versuche Knight's und Johnson's richtig erkannt, dieselben jedoch nicht wiederholt und übersehen, dass sie, den Anforderungen der neueren Pflanzenphysiologie gegenüber, an mehr als einem Mangel leiden. [3]) Vor Allem sind diese Versuche sämmtlich so eingerichtet, dass das Licht die aus der Erde ausgetretenen Wurzeln treffen, und zwar auf der einen Seite mit grösserer Intensität als auf der anderen treffen musste, der Verdacht der Mitwirkung des Heliotropismus ist daher nicht ausgeschlossen; ferner ist die Stelle der Wurzel, an welcher die Krümmung zum feuchten Körper hin eintritt, nicht näher bezeichnet; es könnte ja eine andere, als die von der Schwere und der Centrifugalkraft afficirte Stelle sein; endlich ist die

1) Duhamel, Phys. des arbres II. liv. IV. 6 p. 137—145.

2) Dutrochet, Mémoires pour servir etc. II. p. 3—5.

3) Auf Duchartre's eigene Beobachtungen, die, was er ebenfalls übersieht, mit den bereits genannten durchaus nicht in eine Reihe zu stellen sind, komme ich am Schluss dieses Artikels zurück.

Beziehung der Krümmungsebene der Wurzel zur Oberfläche des feuchten Körpers nicht genau genug bestimmt.

Unter solchen Umständen werden genauere Mittheilungen über den Einfluss feuchter Oberflächen auf die Wachsthumsrichtung der Wurzeln den Botanikern, wie ich hoffe, um so willkommener sein, als die Frage, auf welche Weise die Schwere und die Centrifugalkraft die Wachsthumsrichtung der Wurzeln bestimmen, noch keineswegs gelöst ist, durch die Einwirkung feuchter Körper aber ein neues Moment in die Discussion eingeführt wird, welches vielleicht neue Angriffspunkte zur Lösung des in neuerer Zeit soviel besprochenen Problems bietet.

Derartige Erwägungen waren es auch, welche mich im Frühjahr 1871 bestimmten, die Einwirkung feuchter Körper auf die Wachsthumsrichtung der Wurzeln zu untersuchen. [1])

Ich habe die Versuche in sehr verschiedener Weise angestellt; die beiden bequemsten Methoden will ich zuerst beschreiben.

1) Hängendes Sieb als Keimboden. Reifen von starkem Zinkblech, etwa 5 Ctm. hoch und 20 Ctm. im Durchmesser weit, werden mit weitmaschigem Tüll so überspannt, dass man ein Sieb erhält, dessen poröser Boden von dem Tüll gebildet ist; zwei Hacken oder Ringe dienen zur Befestigung eines Fadens oder Drahtes, mittels dessen das Sieb aufgehängt werden kann. Fig. 3. stellt den Apparat hängend und im Verticalschnitt dar; *a a* die Durchschnitte des Zinkreifens, *b b* die Hacken für den Draht *c c*, der bei *d* aufgehängt ist; von *e* zu *e* ist der Tüll ausgespannt. Auf diesen breitet man nun zu-

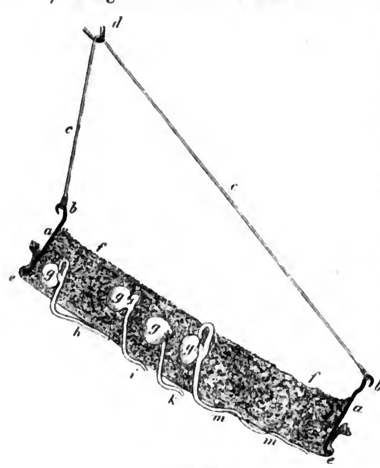


Fig. 3.

1) Eine vorläufige Mittheilung darüber findet sich in den Verh. der phys. medic. Gesellschaft in Würzburg 15. Juli 1871. — Bei dieser Gelegenheit will ich nicht versäumen zu bemerken, dass Duchartre's gen. Abhandlung zwar seit Jahren in meinem Besitz ist, dass sie jedoch ungelesen unter meinen Separatabdrücken lag und mir erst nach Niederschreibung des hier Folgenden vor wenigen Tagen in die Hände fiel; diess ist auch die Ursache, warum die Versuche Knight's und Johnson's in meinem Handbuch und Lehrbuch keine Berücksichtigung gefunden haben.

nächst eine Schicht feuchter Sägespäne [1]), etwa 2 Ctm. dick aus, legt darauf die Samen *g*, *g*, *g* und bedeckt diese mit einer 2—3 Ctm. dicken Schicht feuchter Sägespäne Fig. 3 *ff*. In dieser Form ist der Apparat besonders für grössere Samen (Pisum, Phaseolus, Faba, Zea, Helianthus, Tropaeolum, Ipomaea) sehr geeignet. Einige solche hängende Keimböden, gleichartig hergerichtet, werden nun in einem finstern Zimmer aufgehängt; bei dieser Gelegenheit sei ein für allemal hervorgehoben, dass alle meine Versuche unter Abschluss des Lichts, in einem finstern Zimmer oder in einem hölzernen Schrank gemacht wurden, um die Mitwirkung des Heliotropismus zu vermeiden. Obgleich die Luft in der Umgebung des Apparats nicht mit Wasserdampf gesättigt sein darf, wenn der feuchte, schwebende Keimboden auf die Wurzeln ablenkend einwirken soll, muss man doch allzu grosse Trockenheit vermeiden, da sonst die unten hervortretenden Wurzeln leicht vertrocknen. Es genügt, den Boden des finstern Zimmers mit Wasser täglich einmal oder öfter zu besprengen, so dass die psychrometrische Differenz der Luft etwa 1,5—2,0° R. beträgt.

Hängt nun das Tüllsieb horizontal, so treten die Hauptwurzeln der Keimpflanzen senkrecht durch die Maschen hervor, um in dieser Richtung 10—30 Millim. abwärts zu wachsen; da der feuchte Körper, von allen Seiten her gleich weit von einem gegebenen Punkte der Wurzelspitze entfernt ist, diese also allseitig gleiche Umgebung vorfindet, so kann eine Krümmung nicht eintreten, die Wurzelspitze folgt dem Zug der Schwere allein; entfernt sie sich dabei zu weit von dem Herde der Dampfbildung, kommt sie zu tief in die trockenere Luft abwärts, so vertrocknet sie und stirbt ab. Nicht selten kommt es jedoch vor, dass einzelne Wurzelspitzen, nachdem sie sich bereits 5—10 Mill. weit von der feuchten Fläche entfernt haben, plötzlich umbiegen, einen Bogen von 2—3 Mill. Radius beschreibend zum Keimboden zurückwachsen, in diesen von unten her eindringen oder ihm angeschmiegt an seiner Unterseite hinwachsen. Ich erkläre mir diese Erscheinung durch die Annahme, dass solche Wurzeln, wie es auch sonst häufig vorkommt, aus inneren Wachsthumsursachen Nutationskrümmungen machen, auf diese Weise mit einer Seite der feuchten Fläche näher kommen und nun von dieser zur weiteren Krümmung veranlasst werden. Die oberhalb und unterhalb des Tülls entspringenden Nebenwurzeln würden, wenn der feuchte Keimboden nicht da wäre, oder wenn er sich in dampfgesättigter Luft befände, schief, beinahe horizontal in einem sanften Bogen abwärts wachsen; unter den gegebenen Verhältnissen geschieht diess jedoch nicht; vermöge ihrer natürlichen Richtung ist ihre Oberseite der feuchten Unter-

1) Man kann den Apparat auch in der Weise herstellen, dass man eine ihres Bodens beraubte Holzschachtel mit einem Netz aus Bindfaden überspannt, auf dieses feuchtes Filtrirpapier legt, auf dem man dann die Sägespäne oder Erde ausbreitet. Die Wurzelspitzen durchbohren das Fliesspapier, auch wenn es in mehrfacher Lage vorhanden ist.

seite des Keimbettes zu, ihre Unterseite dieser abgekehrt: es bedarf gewöhnlich nur einer unbedeutenden Krümmung, um die fortwachsenden Spitzen mit dem Tüll in Berührung zu bringen, an welchem sie nun dicht angeschmiegt 5—10 und mehr Ctm. weit hinwachsen; nicht selten geschieht es, dass die Spitze durch eine Tüllmasche aufwärts in die feuchte Masse eindringt, um alsbald wieder durch eine andere Masche abwärts auszutreten und dasselbe Spiel öfter zu wiederholen, so dass die Wurzel wie der Faden in einer Naht verläuft.

Hängt das Sieb schief, etwa unter 45° gegen den Horizont geneigt (Fig. 3), so können auch hier die unten senkrecht hervortretenden Wurzeln einige Millimeter weit grade abwärts fortwachsen, (Fig. 3 *h*) bevor sie durch eine kräftige Krümmung über der Spitze der Unterfläche des Keimbodens sich anschmiegen; gewöhnlich ist es jedoch, dass die Krümmung erfolgt, sobald die krümmungsfähige Stelle in die Tüllmasche eintritt; die Spitze legt sich sofort schief an die Unterfläche an und wächst nun an dieser dicht angeschmiegt abwärts fort; ebenso verhalten sich die Nebenwurzeln. Auch hier kommt das eben erwähnte wellenförmige Auf- und Abwachsen, wodurch die Wurzel in die Tüllmaschen gewissermaassen eingenäht wird, nicht selten vor (Fig. 3 *m m*). Die Erscheinung ist leicht erklärlich: die durch die feuchte Fläche afficirte Wurzelspitze wächst durch eine Tüllmasche aufwärts und kommt durch die Streckung hinter ihr in die Sägespäne (oder das Fliesspapier); hier ist sie allseitig gleichmässig von Feuchtigkeit umgeben und gehorcht nur der Einwirkung der Schwere allein indem sie wieder abwärts wächst, dabei kommt sie aber schief unter die Tüllfläche, was sie abermals zur Aufwärtskrümmung veranlasst u. s. f.

Die Richtung der Hauptwurzeln an der Unterfläche des Siebbodens ist ziemlich streng bei allen dieselbe; denkt man sich durch die Austrittstelle der Wurzel eine Linie an der Siebfläche so gelegt, dass diese den Neigungswinkel der Letzteren zum Horizont angiebt, so folgt die Wurzel der abwärts gehenden Richtung dieser Linie, niemals der aufwärts gehenden; mit anderen Worten die Wurzel wendet sich bei ihrem Austritt nach der Seite hin, wo das Keimbett mit der Verticale den kleinsten spitzen Winkel bildet, also nach der Seite, wo sie der feuchten Fläche am nächsten und von der Richtung der Schwere am wenigsten abgelenkt ist. — Bei den Nebenwurzeln kann diess nicht so deutlich hervortreten, da sie nach allen Richtungen hin aus der Hauptwurzel entspringen, doch lässt sich die Tendenz in diesem Sinne nicht verkennen.

Zuweilen, doch selten geschieht es, dass die der Unterfläche des Keimbodens bisher angeschmiegte Wurzelspitze sich von ihr abwärts entfernt, dem überwiegenden Zug der Schwere folgend, (Fig. 3 *i k*) gewöhnlich biegt sie dann wieder aufwärts, um angeschmiegt fortzuwachsen. Ich habe versäumt, nachzusehen, ob diess nur dann geschieht, wenn etwa der Winkel,

den die angeschmiegte Wurzel mit der Richtung der Schwere macht, eine bestimmte Grösse überschreitet, was ich für wahrscheinlich halte.

Die bisher beschriebenen Erscheinungen unterbleiben vollständig, wenn man den schwebenden Keimboden schief oder horizontal in einem mit Wasserdampf nahezu gesättigten Raume aufhängt, wozu ich eine grosse hohe Glasglocke in umgekehrter Stellung benutze; es genügt, ein wenig Wasser in die Wölbung derselben zu giessen und den Apparat an einen die Oeffnung der Glocke verschliessenden Deckel zu hängen. In diesem Falle wachsen die aus den Tüllmaschen hervortretenden Hauptwurzeln senkrecht abwärts, die Nebenwurzeln in weitgeöffnetem Bogen schief abwärts; die Tendenz zur Anschmiegung an die Unterfläche des Keimbettes ist vollkommen verschwunden, offenbar weil die Wurzeln jetzt allseitig gleichmässig von Feuchtigkeit umgeben sind; sie folgen nun dem Zug der Schwere allein.

2) Torfziegeln, Stücke von gepresstem Torf, vollständig mit Wasser durchtränkt, sind für unsere Versuche ebenfalls sehr geeignet. Grössere Samen lasse ich vorher solange in feuchten Sägespänen liegen, bis die Hauptwurzel 10—12 Mill. lang ist; dann werden sie mittels dünner Nadeln so an den Torf gespiesst, dass die Wurzel diesem anliegt oder doch nur wenig von ihm entfernt ist. Kleine Samen, wie die von Brassica und Lepidium sativum braucht man gar nicht besonders zu befestigen; ich streue sie auf die horizontale Fläche des feuchten Torfziegels und lasse sie so weit keimen, dass die Hauptwurzel eben anfängt in die Torfmasse einzudringen.

Werden nun die Torfziegeln im finstern Raum mit der die Samen tragenden Fläche abwärts 1) horizontal, 2) schief, 3) im dampfgesättigten Raum horizontal oder schief aufgehängt oder aufgestellt, so treten dieselben Erscheinungen wie bei dem Tüllsieb mit Sägespänen ein.

Schneidet man von einem Torfziegel (in trockenem Zustand) eine dünnere Platte, von etwa 2 Ctm. Dicke ab, durchlöchert man diese mittels eines Korkbohrers von ungefähr 4—5 Mill. Weite, so kann man sie als Boden eines Kastens benutzen, dessen Seitenwände von dickem Stanniol gebildet werden, den man mit zahlreichen Stecknadeln an den Seiten der Platte befestigt. Nachdem diese mit Wasser durchzogen ist, steckt man vorher gekeimte Samen (Erbsen, Bohnen u. dgl.) mit den etwa 1 Ctm. langen Wurzeln in die Löcher, füllt das Gefäss bis zum Rande der Stanniolwände mit feuchten Sägespänen und hängt es nun schief auf. Die bald aus den Löchern hervortretenden Wurzeln krümmen sich abwärts nach der Unterfläche des feuchten Torfes hin und wachsen ihm dicht angeschmiegt, zuweilen in ihn eindringend und wieder heraustretend, fort. Ganz anders ist der Effect, wenn man bei Anfertigung dieses Gefässes den Torfboden selbst mit einer Stanniolplatte auf seiner Aussen-, d. h. Unterseite bedeckt und diese gleichzeitig mit der Torfplatte durchbohrt. Bei übrigens gleicher

Einrichtung des Versuchs wachsen nun die Wurzeln in den Löchern bis zu deren unterem Rande; kommen sie aus diesen wirklich hervor, so vertrocknen die Spitzen bald, da die Stannioldecke die Dampfbildung hindert; sehr häufig aber krümmen sich die Wurzelspitzen an der unteren Oeffnung der Löcher angelangt, scharf rückwärts, um sogleich wieder in entgegengesetzter Richtung in den feuchten Raum der Löcher einzudringen.

Ist also die Unterfläche des Keimbodens trocken, so schmiegen sich die hervortretenden Wurzeln ihm nicht an und man begreift, dass Dutrochet's erster Versuch (l. c. p. 3) zu keinem günstigen Resultat führen konnte.

3) Ich habe die Versuche ausserdem an einer Gypsplatte, an mit Erde oder feuchten Sägespänen gefüllten Säcken, und mit Badeschwämmen angestellt. — Es wurde eine grosse Gypsplatte frisch gegossen, so lange sie noch weich war Korke darin befestigt und an diese, nach der Erhärtung der Masse gekeimte Erbsen mit Stecknadeln befestigt, so dass die 1—2 Ctm. langen Hauptwurzeln der feuchten Gypsplatte anlagen oder doch nur 1 Mill. entfernt waren; um den Cotyledonen genügende Feuchtigkeit zuzuführen, wurden diese mit durchtränkten Leinwandstreifen noch besonders bedeckt und täglich von Neuem befeuchtet; die Platte wurde, die mit Samen besetzte Seite abwärts, schief mit einer Neigung von c. 45° zum Horizont aufgestellt; die Wurzeln verlängerten sich beträchtlich und die Mehrzahl schmiegte sich dabei der Gypsplatte dicht an. — Bequemer ist es, den Versuch an mit Erde oder Sägespänen gefüllten Säcken zu machen; diese werden nach der Füllung flach und breit gedrückt, auf einem Brettchen festgenagelt. Keimende Samen von Phaseolus, Faba, Pisum u. dgl. werden mit Stecknadeln so befestigt, dass die bereits ausgetretenen Wurzeln dem feuchten Sacke anliegen und die Brettchen schief aufgestellt, die samentragende Seite nach unten gekehrt; die Wurzelspitzen schmiegen sich dem Sack so fest an, dass sie ihn eindrücken, ja mehrfach kommt es vor, dass sie die dichte (alte) Leinwand durchbohren, in die feuchte Füllmasse eindringen, wieder austreten und sich so gewissermaassen in die Leinwand einnähen. Die Nebenwurzeln, welche durch den Ort ihrer Entstehung der feuchten Fläche von vornherein benachbart sind, schmiegen sich ihr an und man bekommt ganze Wurzelsysteme auf diese Weise flächenförmig ausgebreitet, angeschmiegt und „eingenäht"; nur die auf der Aussenseite, d. h. auf der dem feuchten Körper abgekehrten Seite der Hauptwurzel entspringenden Nebenwurzeln vertrocknen meist frühzeitig, nur einzelne krümmen sich seitwärts und gelangen bis an die feuchte Fläche, wo sie ebenfalls angeschmiegt fortwachsen. — Am wenigsten bequem sind Badeschwämme; ihre Oberfläche ist meist zu uneben und sie trocknen zu leicht aus; trotzdem habe ich auch mit ihnen ganz überzeugende Präparate gewonnen. Keimende Erbsen wurden einfach in die natürlichen Löcher des Schwammes eingeklemmt oder auch mit Nadeln befestigt, so dass die bereits ausgetretenen Wurzeln dem Schwamme anlagen; dieser selbst wurde

frei aufgehängt. Ich habe so reichverzweigte Wurzelsysteme sich entwickeln sehen, die dem Schwamm auf seiner Unterseite angeschmiegt waren; die Wurzeln folgten den grossen Unebenheiten der Unterfläche und drangen nicht selten in die Löcher aufwärts ein. Bei Versuchen an Schwämmen ist besonders deutlich zu sehen, wie Wurzelspitzen, die bereits einige Millimeter, oft selbst 5 Mill. weit von der nächsten Stelle der feuchten Fläche sich entfernt haben, von dieser afficirt werden, sich aufwärts krümmen und wieder in Berührung mit ihr kommen. Hängt man den Schwamm in einem geschlossenen Glascylinder auf, so folgen die Wurzeln ihrer gewöhnlichen Wachsthumsrichtung. Dutrochet's zweiter Versuch (l. c. p. 4), wo innerhalb eines mit Dampf gesättigten Becherglases eine Bohne neben der senkrechten Fläche eines feuchten Schwammes befestigt war, konnte also kein anderes Resultat ergeben, als dass die Wurzeln sich so verhielten, wie wenn der Schwamm gar nicht da gewesen wäre.

Ich habe nachträglich noch zu bemerken, dass es in allen Fällen nöthig ist, die feuchten Keimböden wiederholt, am besten täglich einmal neu zu befeuchten, indem man sie sammt den Keimpflanzen ganz untertaucht oder mit einer Spritzflasche begiesst. Wo die Samen mit Nadeln am Keimboden aussen befestigt sind, ist es gut die Cotyledonen noch mit einem feuchten Körper besonders zu umgeben.

Während die Wurzeln an den feuchten Unterflächen angeschmiegt fortwachsen, entwickeln sich auch die Keimstengel; an ihnen ist irgend ein Einfluss des feuchten Körpers auf die Wachsthumsrichtung nicht wahrzunehmen; soweit es die Umgebung erlaubt, wachsen sie senkrecht aufwärts, was besonders bei dem Tüllsieb klar hervortritt.

Diese Versuche, zumal mit Torfziegeln und dem Tüllsieb sind so leicht anzustellen, und ihr Erfolg ist so sicher, dass sie sich zu Demonstrationen in Collegien besonders eignen.

Weitere Untersuchungen werden vermuthlich zeigen, dass die Fähigkeit der Luftwurzeln epidendrischer Orchideen und Aroideen, sich an feuchten rauhen Flächen dicht anzuschmiegen, wenigstens zum Theil auf denselben Ursachen beruht, wie die Anschmiegung gewöhnlicher Wurzeln an feuchte Oberflächen.

Die Thatsache, dass sich die Wurzeln an ihrem wachsenden Endstück da, wo dasselbe noch für die Wirkung der Schwere und der Centrifugalkraft empfindlich ist, nach einer feuchten Oberfläche hinkrümmen, wenn die Atmosphäre nicht mit Wasserdampf gesättigt ist, könnte nun zunächst in folgender Weise gedeutet werden; die dem feuchten Körper zugekehrte Seite wird concav weil sie langsamer, die der trockneren Luft zugekehrte Seite der Wurzel wird convex, weil sie schneller wächst. Die Oberfläche des feuchten Körpers aber ist, da sie sich in einer nicht gesättigten Atmosphäre befindet, durch ihre Dampfbildung kälter als diese letztere, und man könnte die Wurzelkrümmung somit als eine Wärmewirkung auffassen wollen,

indem man annähme, dass die der trockeneren Luft zugekehrte Wurzelseite auch die wärmere also schneller wachsende sei und dass sie daher convex werden müsse. Allein die der trockeneren Luft zugekehrte Wurzelseite verdunstet selbst, ist selbst ein feuchter Körper, der sich durch Transpiration abkühlt, so gut wie die Oberfläche des feuchten Keimbodens; die etwaige Temperaturdifferenz muss also auf der dem Keimboden zu- und abgekehrten Wurzelseite entweder Null oder ausserordentlich gering sein, auch in dem Falle, dass die Wurzel von der feuchten Oberfläche um einige Millimeter entfernt ist. Sobald aber die Wurzel der Letzteren dicht angeschmiegt ist, bildet ihre freie Oberfläche selbst einen Theil der durch Verdunstung sich abkühlenden Oberfläche des Keimbodens und auch in diesem Falle wird eine irgend erhebliche Temperaturdifferenz der angeschmiegten und freien Wurzelseite nicht zu Stande kommen. Etwaige Zweifel in dieser Richtung würden sich vielleicht mit Hilfe eines thermoelectrischen Apparates beseitigen lassen, der mir in geeigneter Form gegenwärtig nicht zu Gebote steht. Ich versuchte jedoch auf andere Weise die Frage, ob Temperaturdifferenzen beider Wurzelseiten die Krümmung bewirken, zu lösen. Es wurde ein parallelepipedischer Blechkasten von 25 Ctm. Länge (liegend) und etwa 14 Ctm. Höhe und Tiefe, oben mit breitem Deckel, rechts und links offen hergestellt; die beiden Oeffnungen des Kastens lassen sich auf zwei beinahe würfelförmige Blechgefässe so aufschieben, dass diese gewissermaassen die rechte und linke Wand bilden. Diese Blechwürfel stehen auf Dreifüssen; der eine wird mit Wasser gefüllt und durch eine Lampe geheizt, der andere mit Eisstücken gefüllt. In den Kasten zwischen den Würfeln werden an durchtränkten Torfstücken mittels langer Nadeln keimende Samen (Erbsen, Faba) in verschiedener Lage befestigt; der Deckel zugemacht; durch zwei Löcher in demselben berusste Thermometer eingeführt. Die Luft in der Umgebung der Samen ist nun mit Wasserdampf beinahe ganz gesättigt, die Wärmestrahlung der beiden Blechwürfel aber bewirkt an den Keimwurzeln rechts und links eine Temperaturverschiedenheit; die beiden neben den Samen befindlichen, von der kalten und warmen Würfelfläche um 3 Ctm. entfernten Thermometer differirten in meinen Versuchen gewöhnlich um 3° C.; da jedoch (der Feuersgefahr wegen) über Nacht nicht geheizt wurde, glich sich diese Differenz bis Morgens um 7 Uhr meist bis auf einige Zehntelgrade aus. Nach mehrtägiger Fortsetzung der Versuche waren die Wurzeln beträchtlich gewachsen, aber abwärts; einige zeigten leichte Krümmungen, aber ohne bestimmte Beziehung zur Vertheilung der Wärme im Kasten.

Wenn ich nun auch nach diesen und einigen anderen nicht ganz concludenten Versuchen die Frage, ob die verschiedene Temperatur der beiden fraglichen Wurzelseiten die Ursache der Krümmung ist, noch nicht für erledigt halte, so ist sie doch sehr wahrscheinlicherweise zu verneinen, besonders auch deshalb, weil bei einer der feuchten Fläche angeschmiegten

Wurzel die freie Seite durch die Verdunstung ein wenig kälter sein müsste, als die andere, was nach der fraglichen Annahme bewirken müsste, dass die bereits angeschmiegte Wurzelspitze sich wieder von der feuchten Oberfläche wegwendete; das geschieht jedoch nicht, die einmal angeschmiegten Wurzeln wachsen vielmehr an der feuchten Fläche 8—10 und mehr Centimeter weit hin, und wenn es, wie erwähnt, vorkommt, dass die Wurzelspitze gelegentlich sich von der feuchten Fläche wegneigt, so muss diess andere Ursachen haben.

Es bleibt demnach der Einfluss der verschiedenen Feuchtigkeit auf der zu- und abgekehrten Seite der Wurzelspitze als nächste Ursache der Krümmung übrig. Dabei tritt aber das ganz unerwartete Resultat hervor, dass diejenige Seite stärker wächst, welche der stärkeren Verdunstung ausgesetzt ist; bei einer bereits dicht angeschmiegten Wurzel kann die freie Seite allein verdunsten, bei einer noch nicht angeschmiegten, die sich aber zur feuchten Fläche hinkrümmt, muss die stärker wachsende convexe, nach aussen gekehrte Seite etwas stärker transpiriren als die der feuchten Fläche zugekehrte, die langsamer wächst und concav wird.

Da man ohne weitere experimentale Prüfung aller hier einschlägigen Fragen wohl kaum im Stande sein wird, die Einwirkung einer feuchten Oberfläche auf die Wurzelrichtung zu erklären, so enthalte ich mich einstweilen eines abschliessenden Urtheils.

Erst nachdem meine Untersuchung soweit, wie hier mitgetheilt, gediehen war, erhielt ich durch freundliche Vermittelung F. Cohn's, die „Untersuchungen über die Abwärtskrümmung der Wurzel" von Theophil Ciesielski (Dissertation, Breslau 1871), eine durch neue Beobachtungen und treffliche Darstellung ausgezeichnete Arbeit. Eine daselbst mitgetheilte Beobachtung steht in unmittelbarem Bezug zu dem hier behandelten Thema; p. 33 heisst es: „Wird eine gerade, senkrecht abwärts gewachsene Wurzel von Zea Mais auf eine Wasseroberfläche horizontal so aufgelegt, dass das Wasser nur die untere Kante der Wurzel benetzt, so krümmt sie sich nicht abwärts, wie man es voraussetzen müsste, sondern sie krümmt sich aufwärts, in der gewöhnlichen Krümmungszone und hebt dadurch die Spitze von 3—4 Millimeter über die Wasseroberfläche; das hierauf über dem Wasser befindliche Stück beschreibt bei fernerem Wachsthum eine Krümmung abwärts, wodurch die Spitze wieder in Wasser eingetaucht wird; dieses Abwärtswachsthum hielt so lange an bis die krümmungsfähige Zone der Wurzel wieder in Wasser anlangt, worauf dann eine neue Hebung der Spitze aus dem Wasser erfolgt, darauf wieder eine Senkung u. s. w." Steht schon diese Angabe in auffallendem Contrast zu meinen Beobachtungen, so ist diess noch in höherem Grade der Fall, wenn es weiter heisst: „Dieselbe Erscheinung findet auch statt, wenn die Wurzel auf einer nassen, horizontalen Oberfläche eines festen Körpers sich entwickelt, und ist auch bei anderen Pflanzen wie Weizen, Hafer u. dgl. zu beobachten; bei den

Wurzeln von Leguminosen tritt sie sehr selten in diesem Grade ein, wohl aber sieht man, dass bei einer solchen auf Wasser gelegten Wurzel die Krümmung abwärts in einem sehr weiten Bogen allmälig erfolgt und in weitaus selteneren Fällen aufwärts sich krümmt, wie diess auch Hofmeister beobachtet hat.“ Nach Ciesielski liegt die diese Aufwärtskrümmung vermittelnde Stelle nur wenig hinter der Stelle, wo sonst die Abwärtskrümmung erfolgt, doch immer noch da, wo die Zellen der Wurzel in Streckung begriffen sind, nicht selten, wie bei dem Mais fallen beide Stellen sogar zusammen.

Auch diese Beobachtungen werden noch eines eingehenderen Studiums bedürfen, um so mehr, da sie mit meinen Beobachtungen über die Wirkung eines feuchten Körpers, auf dessen Unterseite sich die Wurzel befindet, wenigstens scheinbar im Widerspruch stehen.

Soviel aber scheint gewiss, dass Ciesielski's Erklärung so wohl der beschriebenen Aufwärts- wie der gewöhnlichen Abwärtskrümmung der Wurzelspitze ungenügend oder unrichtig ist; er nimmt nämlich an, dass bei Wurzeln, welche sich nicht in der Richtung der Normale befinden, der Inhalt der Zellen der unteren Hälfte concentrirter und demnach (?) weniger zur Ausscheidung der Zellmembran befähigt, dass derjenige der oberen Hälfte hingegen mehr verdünnt und zur Bildung von Membranmolekülen geeigneter ist. Er glaubt nun, dass die Aufwärtskrümmung der horizontal auf Wasser gelegten Wurzel durch grössere Verdünnung der Säfte auf der Unterseite bewirkt werde. Wie diese Theorie dazu dienen könnte, die von mir beobachteten Aufwärtskrümmungen in Fällen, wo die feuchte Oberfläche die Wurzeln von oben her afficirt, zu erklären, will mir nicht einleuchten, vielmehr scheint sie mir in direktem Widerspruch damit zu stehen. Wenn übrigens Ciesielski Werth darauf legt, dass bei abwärts gekrümmten Wurzeln die Zellen der convexen Oberseite wasserreicher, die der Unterseite protoplasmareicher sind, und darin eine Bestätigung obiger Annahme [1] findet, so ist dagegen zu erwähnen, dass bei den aufwärts gekrümmten Grasknoten gerade das Entgegengesetzte stattfindet, insofern bei diesem die Zellen der convexen Unterseite sehr wasserreich, die der concaven Oberseite sehr protoplasmareich sind. Beides aber ist einfach Folge des starken Wachsthums der Zellen der convexen Seite, ob diese nun oben liegt, wie bei den Wurzeln, oder unten, wie bei den Grasknoten, ist dabei gleichgiltig; die kleinen protoplasmareichen Zellen der concaven Seite verhalten sich eben zu den grossen wasserreichen der convexen Seite in beiden Fällen so, wie junge Zellen zu alten, wie nicht ausgewachsene zu ausgewachsenen;

1) Diese Annahme stützt sich auf das Wachsthum der künstlichen Traube'schen Zellen an der Stelle, wo die Concentration ihres Inhalts die geringste ist; die Mechanik des Aufwärtswachens dieser Zellen lässt sich aber nach meinen Beobachtungen kaum in dieser Weise auf Pflanzenzellen übertragen.

die **relative** Verminderung des Protoplasmas in den Zellen der convexen Seite ist nicht die Ursache, sondern die Folge ihres stärkeren Wachsthums, welches überall mit entsprechender Vermehrung des Zellsaftwassers verbunden ist.

Demnach wäre also weder die gewöhnliche, durch Schwerkraft vermittelte, Abwärtskrümmung, noch die einseitige Einwirkung feuchter Körper auf die Wurzelrichtung bis jetzt erklärt; zu dem alten Räthsel ist ein neues hinzugekommen.

Bei dieser Gelegenheit möchte ich noch einer anderen, von mir oft beobachteten, aber noch nicht genauer untersuchten Erscheinung gedenken, die mit dem hier besprochenen Thema offenbar zusammenhängt; lässt man nämlich Blumentöpfe, in denen Dahlienknollen, Kartoffelknollen u. dgl. eingepflanzt sind und ihre Knospen austreiben, längere Zeit im Finstern stehen, und hält man die Erde gleichmässig feucht, so kommen Tausende kleiner, dünner Nebenwurzeln aus dem Boden an die Oberfläche hervor, wachsen 1—3 Mill. schief in die Luft hinauf, biegen dann abwärts, berühren die feuchte Erde, schmiegen sich dieser an, dringen selbst nicht selten ein wenig ein, um sich wieder zu erheben und dasselbe Spiel von Neuem zu beginnen, so dass derartige Wurzeln auf dem Boden eine horizontale Wellenlinie in vertikaler Ebene beschreiben; oft indessen laufen sie auch ziemlich gerade hin. An den Rand des Topfes gelangt, steigen sie an diesem hinauf und ihm fest angeschmiegt an der Aussenseite zuweilen herunter. — Dieselbe Erscheinung beobachtet man auch an Blumentöpfen mit Dahlien und Kartoffeln im diffusen Licht eines Zimmers (entfernt vom Fenster), wenn die Erde oft begossen wird, in geringerem Grade unter einer Glasglocke auch am Fenster; ebenso kommen bei Aroideen, z. B. Richardia, wenn der Topf ganz unter Wasser gesetzt wird, Wurzeln über die Erde hervor. Offenbar hängt die Erscheinung zunächst davon ab, dass die Erde im Topf gleichmässig feucht ist, dass die Oberfläche derselben nicht stärker austrocknet, als die inneren Theile, was besonders durch die Erwärmung der Oberfläche bei starker Beleuchtung an einem in der Luft stehenden Topf begünstigt wird, weshalb die Erscheinung in diesem, (gewöhnlichen Falle) nicht eintritt.

Aehnliche Erscheinungen beschreibt Duchartre in seiner genannten Abhandlung (1856); er hatte die Töpfe, in denen verschiedene Pflanzen eingewurzelt waren mit Glasgefässen umgeben, welche eine feuchte Atmosphäre umschlossen und an deren Innenseite das aus der Erde verdunstende Wasser sich condensirte und herabrieselte. Wurzeln traten aus der Erde hervor und wuchsen aufwärts in den dampfgesättigten Raum oder krochen auf der Erdoberfläche hin; aus dem unteren, mit eingeschlossenen Stammstück von 1—2 Ctm. Höhe bildeten sich Wurzeln, welche horizontal schwebend oder schief aufwärts wuchsen (Hortensia, Veronica Lindleyana).

Ich möchte Duchartre nicht beistimmen, wenn er diese Erscheinungen ohne Weiteres mit den von Knight und Johnson beobachteten in eine Reihe

stellt, sie gewissermaassen als Bestätigungen derselben betrachtet. Gewiss ist es ja, dass in beiden Fällen die Vertheilung der Feuchtigkeit auf die Wachsthumsrichtung einwirkt, die Thatsache aber, dass Wurzeln aus einem in sich gleichmässig feuchten Boden aufwärts wachsend an die Luft hervortreten, dass sie ferner in einer dampfgesättigten Atmosphäre horizontal wachsen, muss offenbar auf anderen Ursachen beruhen, als die von Knight, Johnson und mir beobachtete Ablenkung der Wurzeln von der normalen Richtung, die nur bei ungleicher Vertheilung der Feuchtigkeit um die Wurzeln eintritt. Dass ferner Wurzeln, welche aus dem feuchten Boden heraufgekommen sind und in eine nicht gesättigte Luft eintreten, nun wellenförmig auf- und abbiegend horizontal am Boden hinlaufen, gehört offenbar in dieselbe Kategorie von Thatsachen, wie die von Ciesielski beschriebenen.

Bevor sich über die Wirkung der Feuchtigkeit auf die Wurzelrichtung irgend etwas Abschliessendes sagen lässt, ist es nöthig alle diese Erscheinungen im Einzelnen sorgfältig zu studiren; hierzu auch Andere anzuregen, ist der Zweck dieser Mittheilungen.

Würzburg, 8. Septbr. 1871.

VI.

Ueber einige Ursachen der Richtung bilateralsymmetrischer Pflanzentheile.

Von

Dr. Hugo de Vries.

Im Anfang des Sommersemesters 1871 legte Herr Professor Sachs mir die Frage zur experimentellen Beantwortung vor, inwieweit sich bilateralsymmetrische Pflanzentheile bei ihren geotropischen und heliotropischen Bewegungen anders verhalten als die gewöhnlichen senkrecht wachsenden Stengel. Unter seiner Leitung habe ich im vergangenen Sommersemester im botanischen Institut der Universität Würzburg eine Reihe von Untersuchungen hierüber angestellt, deren Resultate ich hiermit der Oeffentlichkeit übergebe. Für die vielfache Belehrung und Unterstützung bei dieser Arbeit fühle ich mich Herrn Professor Sachs, meinem verehrten Lehrer, zum lebhaftesten Dank verpflichtet.

Meine Untersuchungen beziehen sich lediglich auf Blätter und nichtvertikale Sprosse von Gefässpflanzen. Weder die Beschreibung der Richtungen, welche diese in der Natur einschlagen, noch eine vollständige Erklärung aller bei dem Erreichen dieser, oder bei dem Verlassen künstlich gegebener Richtungen beobachteten Erscheinungen liegt im Zwecke meiner Arbeit; ich beabsichtigte nur einige der wichtigsten Ursachen dieser Erscheinungen experimentell festzustellen. Dass eine solche Auffassung des Gegenstandes bei dem jetzigen Zustande unserer Kenntnisse berechtigt ist, wird, wie ich glaube, die Behandlung der einschlägigen Literatur zur Genüge zeigen.

1. Historisches und Kritisches.

Schon von den ältesten Forschern, welche überhaupt den Richtungen der Pflanzentheile eine wissenschaftliche Betrachtung widmeten, wurde es als eine selbstverständliche, sich durch eine einfache Ueberlegung leicht ergebende Thatsache ausgesprochen, dass bei den Richtungen der nichtvertikalen Stengelorgane dieselben Ursachen bestimmend mitwirken, denen

auch die vertikal aufwärts oder abwärts gerichteten Pflanzenorgane ihre Richtung verdanken. Man versuchte die Abweichung von der Vertikale dadurch zu erklären, dass man mit den überall wirkenden Ursachen, in diesen Fällen neue sich combinirt dachte, indem der Gleichgewichtszustand aller wirkenden Ursachen die schiefe Richtung des Organes bestimmte. Da also die senkrecht aufwärts oder abwärts wachsenden Organe den einfachsten Fall bildeten, wurden diese hauptsächlich studirt, und die schief wachsenden nur gelegentlich als Anhang oder Erweiterung mit in die Untersuchung hineingezogen. Nur für Bonnet bildeten die Blätter den Hauptgegenstand seines Studiums, und auch er verglich ihre Richtung und deren Ursachen mit den Vorgängen in vertikalen Stengeln als mit dem einfacheren Falle.

Bis vor einem Jahre war diese Richtung der Untersuchung die allgemeine, und weil ich hier nicht auf die Literatur über die Ursachen der Richtung senkrechter Pflanzentheile eingehen kann, werde ich mich darauf beschränken müssen, das Wenige hervorzuheben, was bei den Untersuchungen über diese gelegentlich auch über Blätter und nicht-vertikale Sprosse mitgetheilt wurde. Eine eingehendere Besprechung wird dann aber eine im vorigen Jahre von Dr. A. B. Frank veröffentlichte Abhandlung finden müssen, in der ganz andere, den früheren widersprechende Ansichten vertreten werden.

Dodart [1]) war der erste, der darauf aufmerksam machte, dass die oberirdischen Pflanzentheile bestimmte Richtungen einschlagen, und diese, wenn sie aus ihnen herausgebracht sind, wieder anzunehmen suchen. Er zog hierbei hauptsächlich nur die Stengel in Betracht.

Bonnet hingegen behandelte in der zweiten Abhandlung seines berühmten Werkes „Recherches sur l'usage des feuilles dans les plantes" [2]) ausführlich die Richtungen der Blätter und ihre Eigenschaft diese wieder anzunehmen, wenn sie durch irgend eine äussere Ursache aus derselben abgelenkt worden sind. Auch prüfte er die Abhängigkeit der hierbei beobachteten Erscheinungen von verschiedenen Umständen, und versuchte es auf diese Weise empirisch ihre Ursache aufzufinden. Wenngleich dieses Letztere ihm nicht gelungen ist, so bildeten doch die von ihm beschriebenen und entdeckten Thatsachen eine breite und sichere Grundlage für jede weitere Forschung. Er zeigte, dass die Blätter die Oberseite ihrer Spreite gegen das Licht wenden, oder genauer, dass sie ihre Fläche senkrecht auf die Richtung des stärksten einfallenden Lichtes stellen und dabei ihre Oberseite diesem zukehren; er fand dieses sowohl bei diffusem Tageslicht, bei direktem Sonnenlicht, bei natürlicher oder künstlicher einseitiger Be-

---

1) Histoire de l'Acad. Roy. d. Sc. 1699. p. 60—62; Ibidem 1700. p. 61—64.

2) Deutsch von Arnold: Untersuchungen über den Nutzen der Blätter bei den Pflanzen. 1762. S. 45 91.

leuchtung (im Freien oder am Fenster) als auch bei Benutzung künstlicher Lichtquellen. Werden die Blätter aus dieser, für sie normalen Richtung, gewaltsam herausgebogen, so suchen sie die frühere Lage wieder anzunehmen, und erreichen dieses mittelst Krümmungen oder Achsendrehungen mehr oder weniger vollständig. Bonnet fand ferner, dass abwärts gebogene Blätter auch in völliger Dunkelheit sich aufwärts richten, dass höhere Temperatur diese Bewegungen fördert, und dass bei vielen Blättern diese Bewegungen nur mittelst gewisser Theile, z. B. der Blattstiele oder der Polster ausgeführt werden.

Die Erklärung, welche Bonnet von diesen Erscheinungen gab, und welcher seine Meinung zu Grunde lag, dass die Unterseite der Blätter zu dem Einsaugen des Thaues bestimmt sei, also diesen aufsuche, wurde vollständig von Dutrochet [1]) widerlegt, der das Licht und die Schwere als die äusseren Ursachen dieser Bewegungen nachwies. Schon durch die kritische Behandlung der Versuche Bonnet's, welche er zum grössten Theile wiederholte, gelang es ihm diesen Nachweis zu liefern. Durch seine Rotationsversuche zeigte er, dass viele Blattstiele sich unter dem combinirten Einflusse der Schwere und der Centrifugalkraft ähnlich verhalten wie die Stengel. [2]) Ferner betonte er, dass es nicht immer die Oberseite der Blätter ist, welche sich gegen das Licht kehrt. Schon Duhamel [3]) und Bonnet sahen die Blätter des Viscum album in jeder Lage gegen das Licht wachsen, und in jeder ihnen willkührlich gegebenen Lage verharren; Dutrochet wies aber auf die Blätter mehrerer Gramineen, auf die blattartigen Zweige des Ruscus aculeatus u. s. w., welche ihre Unterseite gegen das Licht wenden. Er erklärte dieses Verhältniss durch die Beobachtung, dass gerade bei diesen Arten es die Oberseite ist, welche das sonst auf der Unterseite befindliche luftreiche Gewebe besitzt. Diejenigen Blätter, welche einen solchen Unterschied ihrer beiden Seiten nicht zeigen, wie z. B. manche Allium-Arten, richten entweder die obere, oder die untere Seite des Blattes gegen das Licht.

Bei seiner Erklärung [4]) der Eigenschaft der Blätter den verlorenen normalen Stand wieder anzunehmen, berücksichtigt Dutrochet nur den Blattstiel, ja er betrachtet die Spreite als ganz passiv bei diesen Bewegungen. Dass dieses Letztere nicht richtig ist, lehrt die Betrachtung dieser Bewegungen sowohl bei gestielten Blättern als zumal bei ungestielten ohne Mühe, und ich werde unten mehrfach die Gelegenheit haben, hiervon Beispiele anzuführen. Für die Bewegung der Blatttheile giebt er zwei Ursachen an: 1) die Aufwärtskrümmung unter dem Einfluss der Schwere, welche Eigen-

1) Dutrochet, Mém. pour servir à l'hist. anat. et physiol. d. végétaux et des animaux. I. II. p. 96.

2) l. c. II. p. 53.

3) Duhamel, Divers. Obs. sur le Guy; Hist. de l'Acad. Roy. d. Sc. 1742, Mémoires p. 483.

4) Dutrochet, l. c. II. p. 109.

schaft also den Blattstielen und Stengeln gemeinsam ist, und 2) krümmen sich nach ihm die Blattstiele dem Lichte zu, aber nur wenn dieses ihre Unterseite trifft. Beide Angaben sind der Hauptsache nach richtig, bedürfen aber, wie sich im Laufe meiner Abhandlung ergeben wird, einer Vervollständigung um für alle Fälle Geltung zu haben.

Schon dreissig Jahre vorher hatte Knight [1]), als er durch seine Rotationsversuche den direkten Nachweis zu liefern suchte, dass es die Schwere sei, welche die Richtung der vertikalen Stengel und Wurzeln bestimmt, eine Erklärung für die Wirkung der Schwere auf nicht-senkrechte Aeste versucht. Er nahm für die Stengel im Allgemeinen an, dass der in ihnen enthaltene Saft, sobald sie sich nicht in der vertikalen Lage befinden, durch die Schwere beeinflusst wird, und sich also auf der unteren Seite anhäuft. Hierdurch würde das Wachsthum dieser Seite gefördert, und könne eine Aufwärtskrümmung eintreten. In der Wirklichkeit trete diese nur dann kräftig ein, wenn der Stengel sehr saftreich sei, und verursache einen senkrechten Stand (vertikale Stengel); für die nicht-vertikalen Stengel nahm er an, dass sie nicht saftreich genug seien, um diese Krümmung auszuführen, bei welcher ja das Gewicht des Astes zu überwinden sei. Hiernach betrachtete Knight die Richtung dieser Zweige als die Folge zweier einander entgegenwirkender Kräfte, deren eine sie herabzieht, und deren andere sie aufwärts zu richten strebt.

Hofmeister [2]), der die Wirkungen der Schwerkraft auf die Pflanzen einer ausführlichen Untersuchung unterwarf, benutzte zu seinen Versuchen über Organe mit Gewebespannung sowohl Stengel als auch Blattstiele, und lieferte hierdurch einen erneuten Beweis für den ursächlichen Zusammenhang, der an vertikalen und nicht-vertikalen Pflanzentheilen beobachteten Richtungen und Richtungsänderungen. Einige Fälle von nicht-vertikaler Richtung erläuterte er eingehender. [3]) Eine Behauptung von Dutrochet [4]) widerlegend, zeigte er, dass bei der Hängeesche das Herabhängen der Aeste durch ihr Gewicht verursacht wird, indem dieses grösser ist als die Kraft, mit der sie sich geotropisch aufwärts zu krümmen suchen. Die schon von Dutrochet [5]) angegebene Thatsache, dass die Ausläufer von Typha, Sparganium und Equisetum in wagerechter oder schief abwärtsgeneigter Richtung, ja oft senkrecht abwärts wachsen, erklärt er dadurch, dass sie sich zwar geotropisch aufwärts zu krümmen suchen, daran aber durch verschiedene Widerstände gehindert werden, welche sie in der einmal angenom-

1) Knight, On the direction of the Radicle and Germen during the Vegetation of seeds; Philosoph. Transact. 1806. I. p. 99.

2) W. Hofmeister, Ueber die durch Schwerkraft bestimmte Richt. v. Pflanzentheilen, Ber. d. math.-phys. Cl. d. K. S. Ges. d. Wiss. 1860. S. 175.

3) Hofmeister, l. c. S. 205.

4) Dutrochet, Mémoires. II. p. 90.

5) Dutrochet, l. c. II. p. 6. 26.

menen Richtung festhalten. Sobald der Widerstand entfernt werde, oder sobald durch gesteigerte Ernährung das Streben zur Aufwärtskrümmung hinreichend erstarkt sei, finde eine Aufwärtskrümmung wirklich statt.

In seinem Handbuch [1]) zeigte Hofmeister dann weiter, dass auch die heliotropischen Krümmungen der Blattstiele mit denen der Stengel übereinstimmen. Die Resultate der verschiedenen Untersuchungen über die Ursachen der Richtung nicht-vertikaler Sprosse zusammenfassend, spricht er, Seite 286, den Satz aus: „Auf dem Zusammenwirken von positivem Heliotropismus, von Belastung von der Lothlinie abweichender Sprosse durch das krümmungsfähige Endstück und von geocentrischen Krümmungen, beruhen die mannichfachen, specifisch verschiedenen und charakteristischen Richtungen seitlicher Auszweigungen von Bäumen und Sträuchern." Die Ursache, durch welche die Blätter ihre Vorderseite gegen das Licht zu wenden suchen, wird von ihm als eine Art negativen Heliotropismus bezeichnet, und darin gefunden, dass „eine Fläche oder Kante des krümmungsfähigen Organs von einem Gewebe gebildet ist, welches bei dem Empfange einer Beleuchtung von bestimmter Intensität sich stärker ausdehnt, stärker wächst, als alle übrigen Gewebe des Organs". [2])

Auch Sachs vertrat in seinem Handbuch der Experimentalphysiologie [3]) die Ansicht, dass die bei vertikalen und nicht-vertikalen Organen durch das Licht oder die Schwere entstehenden Krümmungen wesentlich die nämliche Ursache haben. In Bezug auf die Wirkung der Schwere zeigte er, dass bei den geotropischen Aufwärtskrümmungen die Unterseite stärker in die Länge wächst als die Oberseite, und gründete hierauf eine neue Erklärung dieser Erscheinungen, indem er die Ansicht Hofmeister's, nach welcher eine erhöhte Dehnbarkeit der Epidermis der Unterseite die Ursache der Aufwärtskrümmung war, widerlegte, und die Krümmungen als reine Wachsthumserscheinungen auffasste. Hierdurch wurde eine tiefere Einsicht in die Natur der durch die Schwere in den Pflanzen hervorgerufenen Krümmungen erzielt, und eine empirische Grundlage gewonnen für die von Sachs aufgestellte Theorie über die Art und Weise, wie die Schwere diese Erscheinungen verursacht. Was für den hier behandelten Gegenstand bei seinen Untersuchungen noch nebenbei wichtig ist, ist der Umstand, dass er sowohl Blattstiele als Stengel benutzte [4]), und dadurch auch in dieser Richtung ein ähnliches Verhalten für die ersteren darthat.

Auf ein paar Fälle, auf welche Sachs die Aufmerksamkeit lenkte, sei hier noch hingewiesen. Um den Einfluss der Ernährung auf die Richtung der Organe zu zeigen, erinnerte er an die Thatsache, dass ein horizontal

1) Hofmeister, Handbuch der physiol. Bot. Bd. I 1. Abth. Die Lehre von d. Pflanzenzelle S. 289.

2) Hofmeister, l. c. S. 293. 295.

3) Sachs, Handbuch der Experimentalphysiologie d. Pflanzen. S. 505—510.

4) l. c. S. 508.

oder schief wachsender Zweig nach Wegnahme des Gipfels des Hauptstammes sich aufrichtet, und so gewissermaassen den verlorenen Gipfel durch einen neuen ersetzt, und dass dieses bei sympodialer Stammbildung sogar der natürliche Hergang ist.[1] Das Herabhängen vieler Blüthen durch Krümmung ihres Blüthenstiels, z. B. von Borrago officinalis, erklärte er durch die Annahme, dass die Blüthenstiele hinreichend weich und spannungsfrei sind, um unter dem Gewicht sich abwärts zu krümmen.[2]

Gegen diese Erklärung erhob sich Frank[3], der dieses Herabhängen der Blüthen, in Fällen wo kein negativer Heliotropismus die Ursache ist, als eine geotropische Abwärtskrümmung darzuthun suchte. Er stellte Zweige von Clematis integrifolia, C. cylindrica, Papaver dubium und P. pilosum, an denen sich Blüthenstiele befanden, kurz vor dem Eintreten der Krümmung[4] dieser Letzteren aufrecht in einen dunklen Raum und sah nach einiger Zeit, dass die Krümmung sich auch hier vollzogen hatte, und dass die Knospen also senkrecht abwärts hingen. In einem zweiten Versuche stellte er Zweige dieser Arten und von Smilacina racemosa, nachdem die Krümmung schon eingetreten war, so in's Dunkle, dass sie in einem Winkel von 45° mit der Vertikale mit der Spitze abwärts standen, dass aber die Oeffnung der von den Blüthenstielen gemachten Bogen nach oben schaute. Der Erfolg war, dass diese Krümmungen sich ausglichen, oder in die entgegengesetzte übergeführt wurden, während in den älteren Theilen der Pflanzen geotropische Aufwärtskrümmungen stattfanden. Durch direkte Messungen überzeugte sich Frank, dass während dieser Krümmungen ein Wachsthum der sich krümmenden Theile stattgefunden hatte.

Aus diesen Wahrnehmungen schliesst Frank, dass die Ursache der Abwärtskrümmung die ist, dass die Schwere auf die einzelnen Zellen der krümmungsfähigen Strecke so einwirkt, dass in diesen, sobald sie in eine zu der Vertikalen geneigte Stellung gerathen, die Oberseite rascher zu wachsen anfängt als die Unterseite, und dass dadurch die Krümmung des ganzen Organs herbeigeführt werde. Er rechnet also diese Erscheinungen, gleich den Wurzelkrümmungen, zu den Fällen des positiven Geotropismus.[5] Da nun aber die meisten überhängenden Blüthenstiele, und zumal die von Frank untersuchten Arten in dem gekrümmten Theile Gewebespannung besitzen, und es bisher als ausnahmslose Regel galt, dass nur spannungslose Organe positiven Geotropismus besitzen können, kam mir eine Prüfung von Frank's Angaben wünschenswerth vor. Ich theile meine bezüglichen

1) l. c. S. 106.

2) l. c. S. 93.

3) Dr. A. B. Frank, Beiträge zur Pflanzenphysiologie 1868. S. 53.

4) Dass Frank diese Krümmung Nutation, und dasjenige was Jedermann mit dem Namen Nutation bezeichnet, Inclination nennt (l. c. S. 54), ist eine durch Nichts berechtigte Neuerung, die wohl keine Anhänger finden wird.

5) Frank, l. c. S. 86.

Versuche hier mit, weil auch ich bei meinen Untersuchungen keine Fälle von positivem Geotropismus in Organen mit Gewebespannung gefunden habe, und weil durch sie FRANK's Schlussfolgerung vollständig widerlegt wird, und damit die von HOFMEISTER aufgestellte Regel ausnahmslos bleibt.

Nur drei von den von FRANK benutzten Arten habe ich untersuchen können, und zwar: Clematis integrifolia [1]), Papaver pilosum und P. dubium. Mit diesen wiederholte ich FRANK's Versuche mit dem nämlichen Erfolge. Zu den Versuchen mit senkrecht aufwärts gerichteten Blüthenstielen habe ich Exemplare benutzt, in denen schon eine Abwärtskrümmung eingetreten war. Daneben aber wiederholte ich die FRANK'schen Versuche mit Exemplaren, deren Blüthenknospen ich zuvor entfernt hatte. Jetzt glichen sich die Krümmungen der senkrecht gestellten Blüthenstiele aus, diejenigen der abwärts gerichteten glichen sich nicht aus, sondern wurden schärfer und die Spitze stellte sich womöglich noch genauer senkrecht. (Die älteren Theile der Blüthenstiele befestigte ich so, dass sie keine Krümmungen machen konnten.) Dieses Resultat zeigt, dass die biegsamen Stellen der Blüthenstiele, wie alle anderen Organe mit Gewebespannung, negativ geotropisch sind; und dass also die Abwärtskrümmung Folge des Gewichtes der Blüthenknospen ist. Von einer grossen Anzahl anderer Arten (z. B. Geum rivale, G. potentilloides, Anemone pratensis, Papaver somniferum) stellte ich überhängende Blüthenstiele mit und ohne Endknospe (resp. Blüthe) senkrecht in einen dunklen Raum und fand in allen Versuchen, dass diejenigen ohne Endknospe sich geotropisch aufwärts krümmten.

Einen noch schlagenderen Beweis für den negativen Geotropismus der gekrümmten Theile überhängender Blüthenstiele lieferte mir folgender Versuch: Von überhängenden Blüthenstielen von Papaver pilosum und P. dubium wurden die Endknospen sammt dem nächsten geraden Theile des Stiels entfernt, dann der ganze untere grade Theil in eine enge Glasröhre hineingesteckt; es blieb also nur der gekrümmte Theil frei. Jetzt wurde der so vorbereitete Stiel mit dem unteren Ende in den feuchten Sand eines dunklen feuchten Raumes horizontal hineingesteckt, und zwar so, dass auch die Krümmungsebene horizontal lag. Nach Verlauf mehrerer Stunden hatte sich der gekrümmte Theil in allen Versuchsobjecten senkrecht aufwärts gekrümmt, an dem Ende des engen Glasrohrs war die Krümmung eine sehr scharfe.

Für die abwärts gebogene Endspitze des noch beblätterten Stengels von Saxifraga longifolia, für die überhängende Stengelspitze von Solidago villosa, und für die horizontal auf der Erde kriechenden Ausläufer der Lysimachia Nummularia hat FRANK [2]) den negativen Heliotropismus als die

1) Die meisten Versuche mit dieser Art stellte ich an der eingewurzelten Pflanze im Freien an, da die Ernährung der Blüthenstiele durch das Abschneiden zu sehr beeinträchtigt wird.

2) FRANK, l. c. S. 49–53.

Ursache dieser Erscheinungen angegeben Die übrigen in dieser Abhandlung besprochenen Thatsachen und Ansichten berühren meinen Gegenstand nicht.[1])

Die Bewegungen, mittelst deren die Blätter die verschiedenen Stellungen, welche sie während ihrer Entwickelung einnehmen, erreichen, wurden von Sachs[2]) als Nutationen aufgefasst. Er beschreibt diese Bewegungen und ihre Ursachen folgendermaassen: „Die Knospenlage wird durch stärkeres Wachsthum der Blatthinterseite bewirkt, das spätere Auseinanderschlagen bei der Entfaltung durch stärkeres Wachsthum der Oberseite, bevor das Blatt seine definitive Stellung annimmt, krümmt es sich oft erst rückwärts (Phaseolus). Bei den Farrnblättern ist das Wachsthum der Hinterseite anfangs so überwiegend, dass sie in der Knospenlage nach vorn spiralig eingerollt sind; dasselbe ist bei manchen Blattranken (Cucurbitaceen) der Fall, andere sind schon anfangs grade (Pisum u. a.); jene strecken sich vor Vollendung ihres Wachsthums nicht nur grade, sondern bei ihnen und allen Ranken überwiegt schliesslich die Verlängerung auf der Oberseite so sehr, dass sie sich rückwärts spiralig einrollen."

Im vorigen Jahre veröffentlichte Frank eine Abhandlung über die natürliche wagerechte Richtung von Pflanzentheilen[3]), in der, wie ich schon anfangs kurz erwähnte, ganz andere Ansichten über die Ursachen der Richtung der Blätter und der nicht-vertikalen Sprosse vertreten werden, als die bis hierher auseinandergesetzten. Ohne die Thatsachen und Ansichten, welche bis dahin veröffentlicht wurden, zu widerlegen, ja mit einzelnen Ausnahmen ohne ihrer zu erwähnen, wird ein Erklärungsversuch aufgestellt, der mit ihnen im vollsten Widerspruch steht. Ehe ich dazu übergehe die Richtigkeit der Frank'schen Ansicht zu prüfen, will ich kurz über die von ihm gemachten Versuche und Beobachtungen referiren.

Um eine kritische und dennoch übersichtliche Darstellung liefern zu können, sei es mir gestattet, die Thatsachen in einer andern Reihenfolge, als der von Frank gewählten, zu besprechen. Zuerst werde ich die Versuche über den Einfluss der Schwere und des Lichtes auf die morphologische Orientirung horizontaler Aeste behandeln, dann die Beobachtungen nicht-vertikaler Stengel und Blätter, und drittens die Versuche über die

---

1) Wenn Frank durch die Angabe der Thatsache, dass an ihrer Spitze befestigte, an der Basis aber bewegliche Stengelgebilden, sich dennoch durch die Schwere nach oben concav krümmen können (l. c. S. 83. 84), meint einen neuen Gesichtspunkt für die Wissenschaft eröffnet zu haben (wie dieses auf Seite 81, und auf Seite 84 seiner bald zu citirenden Abhandlung „Richtung von Pflanzentheilen" scheint), so möge er die nämlichen Versuche bei Bonnet (l. c. S. 72—74) und bei Dutrochet (l. c. II. S. 6.) nachlesen und sich zumal die bezügliche Tafel bei Bonnet ansehen (Tafel XVIII). Auch ist eine Bemerkung von Hofmeister (Die Lehre von der Pflanzenzelle. S. 286) zu beachten.

2) Sachs, Lehrbuch der Botanik, 2. Aufl. 1870. S. 565.

3) Dr. A. B. Frank, Die natürliche wagerechte Richtung von Pflanzentheilen, und ihre Abhängigkeit vom Lichte und von der Gravitation, Leipzig 1870.

Fragen, wie diese sich im Dunkeln, oder nachdem sie künstlich in unnatürliche Lage gebracht sind, verhalten. In diese drei Gruppen lassen sich sämmtliche in FRANK's Abhandlung mitgetheilten Thatsachen, soweit sie die Stengel und Blätter der Gefässpflanzen berücksichtigen, ohne Zwang zusammenfassen. Versuche mit einseitiger Beleuchtung, Versuche über den Einfluss der Belastung, Versuche mit vom Pflanzenkörper getrennten morphologisch genau umschriebenen Organen hat FRANK in dieser Arbeit nicht angestellt. Ueber seine Versuche im Dunkeln muss im Allgemeinen bemerkt werden, dass sie meistens so lange dauerten, dass die benutzten Pflanzentheile bei der Beobachtung des Resultates gänzlich etiolirt waren. Ueber FRANK's Schlussfolgerungen lässt sich bemerken, dass er immer nur eine Kraft als ausschliesslich bestimmend für die Richtung der Pflanzentheile betrachtet, und dadurch dazu gelangt ist, diesen Kräften ganz neue hypothetische Wirkungen zuzuschreiben. In vielen von seinen Beobachtungen ist es sehr leicht, die Resultate durch das Zusammenwirken längst bekannter Ursachen (Geotropismus, positiver oder negativer Heliotropismus, Belastung) zu erklären; zu einer vollständigen Erklärung braucht man allerdings meistens noch wenigstens eine andere Ursache, worauf ich aber erst später nach Mittheilung meiner eigenen Untersuchungen werde eingehen können.

In Bezug auf die anatomische Orientirung horizontaler Aeste hat FRANK die wichtige Thatsache aufgefunden, dass bei den Coniferen die Ausbildung eines horizontalen Astes zu einem bilateralsymmetrischen Gebilde während der Entwickelung aus dem Knospenzustand von der Schwere und vielleicht auch dem Lichte beeinflusst wird, und zwar so, dass immer die physikalische Oberseite, resp. die am stärksten beleuchtete Seite zur anatomischen Oberseite wird. [1]) Bei den von ihm untersuchten Laubhölzern findet diese Beziehung nicht statt, sondern wird die histologische Differenzirung lediglich durch die in der Knospe schon vorhandenen Verhältnisse bestimmt. [2])

Die Versuche, woraus er diese Folgerungen schliesst, sind der Hauptsache nach die folgenden: Er befestigte vor dem Treiben der Knospen, Aeste künstlich in verschiedenen Richtungen. Er erhielt dadurch Knospen deren Achse vertikal aufwärts, andere deren Achse vertikal abwärts, und noch andere deren Achse horizontal gerichtet war. Von den die Knospen mit horizontaler Achse tragenden Sprossen standen einige mit ihrer Foliationsebene senkrecht, andere mit dieser horizontal, wobei dann die Unterseite nach oben schaute. Bei dem Austreiben der Coniferen-Knospen beobachtete er nun Folgendes. Die vertikalen Zweiglein richteten sich bald horizontal; ihre Krümmungsebene stand aber in keiner Beziehung zu der Foliationsebene der jährigen, sie tragenden Sprosse, die horizontalen Zweiglein änderten ihre Richtung nicht. Bald scheitelten sich bei allen die

1) l. c. S. 24—27.
2) l. c. S. 34.

Blätter und zwar immer auf der physikalischen Oberseite, welche dadurch auch bei der weiteren Entwickelung zur anatomischen Oberseite wurde. Dem entsprechend drehten sich die Blätter in ihrem Basaltheile so, dass ihre morphologische Oberseite zur physikalischen wurde. Ist diese Differenzirung einmal eingetreten, so kann man durch Aenderung der Richtung des neuen Zweiges keine Umwechslung der Ober- und Unterseite mehr hervorrufen. Von der Thatsache, dass wirklich die physikalische Oberseite zur anatomischen, und nicht etwa durch Torsion die anatomische zur physikalischen geworden ist, kann man sich auch an den ausgewachsenen Versuchszweigen leicht überzeugen. Frank erhielt diese Resultate bei Taxus baccata, Pinus Picea, P. balsamea und P. canadensis. Ich habe seine Versuche mit in umgekehrter Lage horizontalgestellten Aesten von Taxus baccata, Picea nigra und Sequoia sempervirens wiederholt, und seine Angaben genau bestätigt gefunden.

Bei Tilia parvifolia und Carpinus Betulus beobachtete Frank in diesen Versuchen, dass immer die Foliationsebene der neuen Zweige durch diejenige des jährigen Astes bestimmt war; bei dem Austreiben der neuen Zweige erhielten diese ihren normalen Stand erst durch Krümmungen und Achsendrehungen. In allen diesen Versuchen wurde der Einfluss des Lichtes nicht ausgeschlossen, doch beobachtete Frank, dass wenn er Aeste der genannten Coniferen in der normalen horizontalen Lage im Dunkeln treiben liess, die Scheitelung der Blätter und die Ausbildung der anatomischen Ober- und Unterseite auch hier erfolgte.[1])

Ein grosser Theil von Frank's Arbeit ist der ausführlichen Beschreibung einer Anzahl der in der Natur vorkommenden Fälle horizontaler oder schiefer Sprosse und Blätter gewidmet.[2]) Es wird hierin gezeigt, wie die morphologische Orientirung allgemein in bestimmter Beziehung zu der physikalischen Richtung steht, wie zumal bei den Blättern diese Beziehung offenbar eine für das Pflanzenleben nützliche, und hauptsächlich durch die Richtung des einfallenden Lichtes bedingte ist, und wie in denjenigen Fällen, wo der Stengel oder das Blatt bei dem Hervortreten aus dem Knospenzustande nicht gleich anfangs die für ihn normale Richtung hat, diese durch Krümmungen und Achsendrehungen erreicht werden. Ferner beschreibt er den Antheil, welchen die Richtung der Aeste an dem Habitus der Bäume und Zweige haben, weist darauf hin, dass in vielen Fällen die der Krümmungen und Drehungen fähigen Internodien und Blätter diese Eigenschaft nicht in ihrer ganzen Länge, sondern nur an bestimmten Stellen besitzen, und erläutert zuletzt, wie den getheilten und den zusammengesetzten Blättern durch diese Eigenschaft die Erreichung einer solchen

---

1) l. c. S. 27.

2) l. c. S. 5—17 für die Sprosse; S. 43—65 für die Blätter; die zwei in diesen letzteren Seiten mit verzeichneten Versuchsreihen werde ich später erwähnen.

Stellung, dass jeder Theil der Spreite senkrecht auf das einfallende Licht steht, bedeutend erleichtert wird. Auf die einzelnen von ihm beschriebenen Fälle näher einzugehen würde mich zu weit führen.

Die Versuche, welche Frank über die Ursachen dieser verschiedenen Richtungen angestellt hat, lassen sich bequem in zwei Gruppen zusammenfassen, je nachdem es sich herausstellte, dass das Licht einen Einfluss auf die Richtung des untersuchten Pflanzentheils hatte, oder dass diese Richtung auch in der Dunkelheit angenommen wurde. Ich erwähne die Versuche der letzteren Gruppe zuerst.

Junge, noch wachsende, horizontale Zweige von Taxus baccata, Pinus Picea, P. balsamea, P. canadensis[1], Tilia, Carpinus, Ulmus[2], Spiraea hypericifolia[3], Philadelphus colombianus[4], wurden in senkrecht aufwärts, und andere der nämlichen Arten in senkrecht abwärts gerichtete Stellung gebracht und künstlich befestigt. Nach einigen Tagen hatte sich das noch wachsende Ende so gebogen, dass es horizontal stand, wobei es meistens, jedoch nicht in allen Fällen seine morphologische Oberseite gegen das Zenith kehrte. Wo die Oberseite bei der Krümmung unten kam, erreichte sie durch eine Torsion des Sprosses bald wieder ihre normale Lage. Im Dunkeln wurden die Versuche mit dem nämlichen Erfolg wiederholt. Frank erklärt dieses Resultat dadurch, dass er annimmt, dass die Internodien die Eigenschaft besitzen, sich senkrecht auf die Richtung der Schwere zu stellen. und dabei ihre Oberseite nach oben zu richten. Das mag in einigen Fällen richtig sein, in anderen aber besitzt der Ast dieses Streben nur, so lange das Gewicht der Blätter mitwirkt. Als ich bei Ulmus campestris, Picea nigra u. a. m. die Blätter eines horizontalen kräftig wachsenden Zweiges entfernte, beobachtete ich nach einigen Tagen eine Aufwärtskrümmung dieser Zweige; die horizontale Richtung ist also Folge der Belastung, wahrscheinlich mit gewöhnlichem Geotropismus, und vielleicht auch mit anderen Eigenschaften der untersuchten Organe combinirt.

Ferner befestigte Frank wachsende horizontale Zweige der genannten Arten, und von Corylus[5], Lonicera Xylosteum, und L. diversifolia[6] in horizontaler aber umgekehrter Lage; die Folge war, dass sie durch Torsionen wieder in ihren ursprünglichen Stand geriethen, wobei die schon von Natur tordirten Zweige die neue Torsion in der Richtung der schon vorhandenen ausführten. Bei mehreren dieser Arten stellte er auch Zweige horizontal so auf, dass ihre Medianebene horizontal stand; auch diese erreichten ihre natürliche Stellung durch Torsionen, und zwar wurde dabei immer der kürzeste Weg eingeschlagen. Auch im Dunkeln wurden alle diese Versuche mit dem nämlichen Resultate wiederholt. Frank nimmt auch hier eine Eigenschaft der Internodien an, sich senkrecht auf die

1) l. c. S. 22—30. 2) l. c. S. 30—37. 3) l. c. S. 37. 4) l. c. S. 38.
5) l. c. S. 35. 6) l. c. S. 39.

Richtung der Schwere, und zwar mit der morphologischen Oberseite nach oben, zu stellen. Da aber die Blätter in diesen Versuchen nicht entfernt wurden, da nicht genau angegeben wurde, ob nicht auch geringe Krümmungen hierbei auftraten, und da, wie ich im Laufe dieser Abhandlung zeigen werde, eine auf verschiedenen Seiten ungleiche Belastung in vielen Fällen die alleinige Ursache beobachteter Torsionen ist, so lehren alle diese Versuche Nichts über die Frage, ob die Ursache der Torsion in dem sich tordirenden Theile, oder ob sie ausserhalb desselben gesucht werden muss. Sie sind also nicht im Stande die von Frank aufgestellte Hypothese auch nur wahrscheinlich zu machen.

In allen diesen Versuchen verhielten sich diejenigen Blätter [1]), welche nicht durch Krümmung oder Drehung der Zweige in ihre normale Lage zurückgeführt wurden, genau ebenso, sie erreichten, insofern ihr Wachsthumsstadium dieses gestattete, ihre normale Stellung entweder durch Krümmungen oder durch Achsendrehungen, dabei immer den kürzesten Weg folgend. Da nun auch in diesem Falle, wie ich zeigen werde, das Gewicht der Spreite im Stande ist, je nach der Lage, Krümmungen und Torsionen herbeizuführen, können auch in dieser Hinsicht die Versuche nicht als über die Eigenschaften einzelner Theile entscheidend betrachtet werden.

Noch in einem Versuche [2]) meint Frank den Nachweis geliefert zu haben, dass Sprosse sich senkrecht auf die Richtung der Schwere zu stellen suchen. Der Versuch bezieht sich auf die Ausläufer der Erdbeeren, und zwar benutzte Frank die Fragaria lucida. Er fand, dass künstlich vertikal aufwärts oder abwärts gerichtete Ausläufer dieser Art sich sowohl im Lichte als im Finstern wieder horizontal stellen; dass aber die in normaler Lage verdunkelten ihre Richtung nicht ändern, oder dass, wenn auch kleine Abweichungen eintraten, diese doch späterhin wieder ausgeglichen wurden. Die Versuche mit den vertikal aufwärts gestellten Ausläufern lassen die Vermuthung zu, dass das Gewicht der Spitze einen Einfluss hatte, da die Krümmungen nur eintraten, nachdem die Stengel um ein Beträchtliches in die Länge gewachsen waren; die Beschreibung der übrigen Versuche ist nicht genau genug um irgend welche Kritik zu gestatten. Ich habe es daher versucht, über die Eigenschaften der Ausläufer der Erdbeere durch neue Versuche in's Klare zu kommen.

Ich stellte zahlreiche, meist 15 Cm. lange, kräftig wachsende Ausläuferspitzen von verschiedenen Arten, an denen ich die Endknospe und etwaige Blätter entfernt hatte, horizontal in normaler oder umgekehrter Lage in einen dunklen feuchten Raum: nach 24 Stunden hatten sich alle

---

1) l. c. S. 60—65.

2) l. c. S. 20; den Versuch mit Deutzia S. 15 und 40, werde ich erst später besprechen.

deutlich aufwärts gekrümmt, sie waren also negativ geotropisch. Für die Versuche über den Einfluss des Lichtes benutzte ich in Töpfen wachsende Exemplare der F. canadensis, da mir die F. lucida nicht zur Verfügung stand. Mehrere Ausläufer dieser Exemplare befestigte ich in vertikaler Stellung, so dass die c. 15 Cm. lange Spitze frei und beweglich blieb. Da diese Spitzen nicht alle ganz gerade waren, stellte ich die Pflanzen in's Dunkle, wo sie bald völlig grade und senkrecht wurden. Jetzt stellte ich die Töpfe unter einem Recipienten von schwarzem Pappdeckel, dessen eine vertikale Seite durch eine Glasscheibe gebildet war, vor dem Südfenster, so dass die Spitzen direktes Sonnenlicht erhielten. Einige stellte ich mit ihrer morphologischen Oberseite, andere mit ihrer Unterseite gegen das Licht. Nach 4—5 Stunden hatten sich alle Ausläuferspitzen convex gegen das Licht gebogen. Als ich jetzt den ganzen Apparat wieder verdunkelte, stellten sich die Spitzen wieder senkrecht. Ich wiederholte diese Versuche mehrere Tage hindurch. Erst als die Spitzen zu lang geworden waren, um durch den Geotropismus ihres unteren, nicht mehr kräftig wachsenden Theiles gehoben zu werden, wurde die Krümmung in diesem Theile eine bleibende. Im direkten Sonnenlichte sind diese Ausläufer also negativ heliotropisch. Bei sehr diffusem Tageslicht haben sie, wie später gezeigt werden wird, keine heliotropische Eigenschaften. Die horizontale Stellung im Freien kann also als die Lage betrachtet werden, in der Geotropismus und Heliotropismus einander Gleichgewicht machen. Dem entsprechend sieht man an trüben Tagen im Freien nicht selten die wenig belasteten Spitzen dieser Ausläufer sich etwas aufwärts krümmen. Die Nutationen, welche man vielfach an den äussersten, 1—2 Cm. langen Strecken der Spitzen beobachtet, bleiben hier selbstverständlich ausser Betracht.

Einen Einfluss des Lichtes auf die Richtung nicht-vertikaler Pflanzentheile beobachtete Frank in folgenden Versuchen:

Die horizontalen Stengel von Polygonum aviculare, Atriplex latifolia, und Panicum Crus Galli [1]) krümmten sich senkrecht aufwärts, nachdem sie in völlige Finsterniss versetzt worden waren; dagegen stellten sich vertikal aufwärts oder vertikal abwärts gebundene Zweige der ersteren Art im Lichte alsbald wieder horizontal. Frank schliesst aus ersteren Versuchen richtig, dass die genannten Sprosse negativ geotropisch sind, erklärt aber den zweiten Versuch, indem er annimmt, dass die Stengel die Eigenschaft haben, sich senkrecht auf das einfallende Licht zu stellen. Viel einfacher ist aber die gleich zulässige Annahme, dass sie negativ heliotropisch sind, und dass Geotropismus und Heliotropismus einander bei der wagerechten Stellung Gleichgewicht machen. Einen Versuch, um über die Zulässigkeit der einen oder der andern Annahme zu entscheiden, hat Frank nicht gemacht.

---

1) l. c. S. 18—20.

Bei Convallaria latifolia und C. multiflora [1]) beobachtete Frank, dass die Sprosse, welche im Licht ihre Spitzen wagerecht stellen, bei der Entwickelung in völliger Finsterniss senkrecht bleiben, und dass sogar bei der ersteren Art die am Lichte schon gekrümmten Sprosse sich in der Finsterniss wieder erheben. Statt der einfachen Erklärung, dass die horizontale Stellung hier Folge des Zusammenwirkens von Geotropismus und negativem Heliotropismus ist, wählt Frank auch hier, ohne den entscheidenden Grund anzugeben, die Annahme, dass die Stengel die Eigenschaft besitzen, sich senkrecht auf das einfallende Licht zu stellen.

Ueber den Einfluss des Lichtes auf die Richtung der Blätter stellte Frank folgende Versuche an. [2]) In Töpfen stehende Stöcke von Lappa minor, Rumex conglomeratus, Capsella Bursa pastoris, Plantago major, P. lanceolata, Primula elatior, Cirsium sp. und Ranunculus Ficaria, welche alle noch in der Bildung ihrer Wurzelblätter begriffen waren, wurden in natürlicher Stellung in einen völlig dunklen Raum gestellt. Alle noch wachsenden, und alle neu sich entwickelnden Theile stellten sich dabei vertikal, woraus Frank schliesst, dass ihre natürliche von der Lothlinie abweichende Stellung nur eine Wirkung des Lichtes ist. Da aber die senkrecht entwickelten Blätter völlig etiolirt waren, somit ihre Ernährung eine unvollständige und das Wachsthum zumal ihrer Spreiten ein ganz anderes war als dasjenige der nämlichen Theile im grünen Zustand, so kann man auch diesem Versuch keine Beweiskraft zusprechen für die Behauptung, dass die Spreiten der untersuchten Blätter nur durch die direkte Lichtwirkung ihre normale Stellung erhalten. [3])

Mit Allium ursinum, in dessen Blättern die morphologische Unterseite bekanntlich im Laufe der Entwickelung zur Lichtseite wird, stellte Frank ganz ähnliche Versuche an. [4]) In diesen tordirten sich die Blattstiele wie gewöhnlich, aber stärker als am Lichte, die Spreite krümmte sich abwärts, wobei aber öfter die Lichtseite unten kam, woraus Frank schliesst, dass hier auch das Licht einen Einfluss auf die normalen Krümmungen ausübt.

Ich übergehe das Capitel über die Marchantiaceen und Jungermanniaceen, und wende mich jetzt zu dem letzten Capitel, dem Frank die Ueberschrift ,,Allgemeine Gesetze" gegeben hat.

Zunächst fasst er hier das Resultat aller seiner im Vorhergehenden mitgetheilten Beobachtungen und Versuche dahin zusammen, dass das Ziel der beobachteten Bewegungen ,,diejenige Stellung ist, in welcher die Linie

---

1) l. c. S. 21.

2) l. c. S. 46.

3) Beobachtet man in der freien Natur die Richtung der jüngsten Wurzelblätter dieser Arten, auch nach ihrer völligen Entwickelung, so wird man leicht erkennen, dass die auf das einfallende Licht senkrechte Richtung der Spreite, welche Frank ihnen zuschreibt, sich bei vielen nur in sehr unvollkommener Weise vorfindet.

4) l. c. S. 46.

oder Ebene des Wachsthums rechtwinklig steht zu der Richtung, in welcher die Gravitation wirkt oder die Lichtstrahlen gehen, wobei, wenn zweierlei morphologisch verschiedene Kanten oder Seiten an den Organen sich finden, immer eine bestimmte der Quelle jener Kräfte zugekehrt wird." [1]) Ueber die Ursache dieser Bewegungen habe ich schon im Vorhergehenden bemerkt, dass FRANK annimmt: 1) dass jedesmal nur eine äussere Kraft ausschliesslich die zu erreichende Richtung bestimmt, und 2) dass überall diese äussere Kraft direkt auf den sich krümmenden oder tordirenden Theil einwirkt. Zwar hat FRANK diese beiden Annahmen nicht ausdrücklich hervorgehoben, noch ihre Richtigkeit experimentell geprüft; aus allen seinen Schlussfolgerungen geht aber deutlich hervor, dass er sie als richtig, man möchte sogar meinen, als selbstverständlich voraussetzt. Indem nach diesen Voraussetzungen jedes einzelne Theilchen, welches dieser Bewegungen fähig ist, eine morphologisch in ihm bestimmte Ebene, welche immer die Längsachse des Organs in sich enthält, senkrecht auf die Richtung des Lichtes und der Schwere zu stellen sucht, das Organ sich immer transversal auf die Richtung des Lichtes oder der Schwere stellt, schlägt FRANK vor, der Ursache dieser Bewegungen den Namen Transversal-Heliotropismus, resp. Transversal-Geotropismus zu geben.

Die erste der beiden Annahmen ist eine entschieden willkührliche und logisch unbegründete. Wenn ein Pflanzentheil, wie z. B. die Stengel von Polygonum aviculare, Convallaria latifolia u. a., sowohl für die Wirkung des Lichtes, als für diejenige der Schwere empfindlich ist, und man weiss, dass er sich unter dem Einfluss des Letzteren senkrecht zu stellen sucht, daran aber durch das Licht gehindert wird, so ist unter allen Bedingungen seine wirkliche Richtung (abgesehen von anderen mitwirkenden Kräften) die Folge des Zusammenwirkens beider Kräfte, und diese Richtung kann nur dann mit derjenigen Richtung zusammenfallen, welche er unter dem alleinigen Einfluss des Lichtes haben würde, wenn dieser Einfluss im Vergleich zu dem der Schwere unendlich gross ist. Zu dieser Annahme besteht aber nicht der geringste Grund, und viele Beobachtungen widersprechen ihr auf das Entschiedenste. Dass die von FRANK angeführten Thatsachen diese Annahme nicht beweisen, habe ich bei der Erörterung dieser erwähnt.

Ueber die Richtigkeit der zweiten Annahme können selbstverständlich nur solche Versuche entscheiden, bei denen jede Belastung des untersuchten Theils entfernt worden ist, da bekanntlich durch künstliche Belastung im Allgemeinen leicht Krümmungen, und durch auf verschiedenen Seiten ungleiche Belastung Torsionen herbeigeführt werden können, welche durch das Wachsthum bleibend werden. Solche Versuche nun hat FRANK nicht gemacht. Näheres über den Einfluss der Belastung werde ich im Laufe

1) l. c. S. 72.

meiner Abhandlung mittheilen; es wird sich da zeigen, wie dieses schon bei dem angeführten Versuche mit Ulmus und Picea der Fall war, dass auch die natürliche Belastung einen wichtigen Einfluss auf die Richtung und auf die Bewegungen der Pflanzentheile haben kann. Damit ich später nicht hierauf zurückzukommen nöthig habe, erwähne ich hier, dass zumal meine Untersuchungen über die Ursache der Torsionen die Unrichtigkeit der zweiten Annahme beweisen.

Nachdem also beide Annahmen für keinen Fall bewiesen, für viele Fälle aber entschieden unrichtig sind, wird der Schluss erlaubt sein, dass für die Aufstellung der Hypothese, dass die horizontalen Pflanzentheile eine Eigenschaft besitzen, die man mit dem Namen Transversal-Heliotropismus, resp. Transversal-Geotropismus belegen könnte, kein Grund vorhanden ist.

Auch aus rein logischen Gründen ist, wie es mir scheint, jene Hypothese unhaltbar. Denn es giebt im Pflanzenreiche nicht nur vertikale und horizontale Organe, sondern auch jede andere Richtung hat ihre Vertreter. Wenn nun Frank annimmt, dass horizontale Pflanzentheile die Eigenschaft haben, sich senkrecht auf die Richtung des Lichtes oder der Schwere zu stellen, und zwar durch eine direkte Einwirkung dieser Kräfte auf ihre kleinsten Theilchen, so muss er auch annehmen, dass schiefe Pflanzentheile ebenso die Eigenschaft haben sich schief zu diesen Richtungen zu stellen, und zwar nach bestimmten Winkeln. Es würde also z. B. auch 45° -Heliotropismus oder -Geotropismus u. s. w. geben, ja sogar müsste man für einige Pflanzentheile — 45° -Heliotropismus u. s. w. annehmen, und der Transversal-Heliotropismus wäre nur einer von den vielen möglichen Fällen, und zwar der 90° -Heliotropismus. Ebenso für den Geotropismus. Aus dieser Betrachtung ersieht man, dass die Frank'sche Ansicht kaum den Namen eines wissenschaftlichen Erklärungsversuchs verdient.

Nach der Aufstellung seiner Hypothese versucht Frank es, die möglichen Bewegungen aller ,,transversal-heliotropischen und transversal-geotropischen'' Pflanzentheile in allgemeinen Sätzen auszudrücken. Indem er die auf die Richtung des Lichtes, resp. der Schwere in normalem Zustande senkrechte Ebene der betrachteten Organe Transversal-Ebene nennt, stellt er folgende Sätze auf.[1])

1) ,,Steht die Transversalebene vertikal, resp. in der Richtung intensivster Beleuchtung so, dass die Basis dem Zenith, resp. der Lichtquelle zugekehrt ist, so beschreibt das Organ eine Krümmung von 90°, bei welcher die Vorderseite concav wird.

2) Steht die Transversalebene in der nämlichen Richtung, aber so, dass die Spitze dem Zenith, resp. der Lichtquelle zugekehrt ist, so nimmt das Organ ebenfalls eine Krümmung von 90° vor, bei welcher aber die Vorderseite convex wird.

---

[1]) l. c. S. 78.

3) Steht die Transversalebene so, dass dem Zenith, resp. des Quelle intensivsten Lichtes weder die Basis noch die Spitze, sondern eine Seite zugewendet ist, wobei also die Longitudinale des Organes rechtwinklig liegt zur Vertikale, resp. zur Richtung stärkster Beleuchtung, so erfolgt eine Achsendrehung um 90° und zwar rechtsum wenn die rechte, linksum wenn die linke Seite dem Zenith, resp. der Lichtquelle zugekehrt war.

4) Liegt endlich die Longitudinale des Organes abermals rechtwinklig zur Vertikale, resp. zur Richtung stärkster Beleuchtung, aber so, dass die Transversalebene horizontal, resp. rechtwinklig zur Richtung der Beleuchtung steht, jedoch die Hinterseite dem Zenith resp. der Lichtquelle zukehrt, so wird entweder eine Krümmung von 180° beschrieben, wobei die Vorderseite convex wird, oder es erfolgt eine Drehung des Organes um seine Achse im Betrage von 180°.

In diesen vier Formen geschehen die Bewegungen aller der verschiedenen transversalheliotropischen und -geotropischen Pflanzentheile, von denen in der vorliegenden Arbeit die Rede gewesen ist, wie der Leser leicht selbst finden wird, wenn er dieselbe mit diesen Gesetzen vergleicht.''

Ueber diese ,,Gesetze'', die ihrer Form nach zwar vom theoretischen Standpunkt aus ausgesprochen sind, ihrem Inhalte nach aber, wie der angeführte Zusatz zeigt, durchaus empirische sein sollen, muss ich noch einige Bemerkungen mittheilen. Erstens gelten sie in ihrer scharfen Fassung selbstverständlich nur für Pflanzentheile, welche in normaler Stellung mathematisch genau senkrecht auf die Richtung des Lichtes oder der Schwere stehen, ein Fall der in der Natur vielleicht noch weniger allgemein ist, als die senkrechte Aufwärtsrichtung. Zweitens aber giebt es eine so beträchtliche Anzahl von Ausnahmefällen von diesen Sätzen, dass sie, zumal der erste und der dritte, nicht einmal als empirische Regel gelten können. Es kann nicht meine Aufgabe sein, alle diese Ausnahmen hier anzuführen, nur auf einige wichtige will ich hinweisen.

Die meisten Blätter krümmen sich, wenn sie in den im ersten Satze erwähnten vertikalen Stand künstlich versetzt werden, so, dass ihre Hinterseite concav wird, werden sie hieran durch irgend einen festen Körper verhindert, so drücken sie sich kräftig an diesen an. In zahlreichen hierüber angestellten Versuchen fand ich diese Thatsache ganz allgemein; nur wenn eine ungleiche Belastung der beiden Seiten Torsionen herbeiführte, wurde das Resultat undeutlich. Stellte ich in Töpfen erwachsene Pflanzen umgekehrt so auf, dass sich irgend ein Blatt in der Richtung des einfallenden direkten Sonnenlichtes befand, aber so, dass die Basis der Sonne zugekehrt war, und dass die morphologische Oberseite nach unten schaute, so krümmte sich das betreffende Blatt stets mit der Hinterseite concav. So z. B. bei Cucurbita Pepo, Lupinus hirsutus, Dahlia variabilis (Blattstiele), Mirabilis Jalappa (Spreite), Phaseolus multiflorus (Blattpolster). Etwaige Krümmungen des Stengels waren hierbei natürlich durch Be-

festigung verhindert. Viele horizontale Aeste krümmen sich nachdem sie in den im zweiten Satze beschriebenen Stand versetzt wurden, mit der Vorderseite concav. So z. B. horizontale (entblätterte) Aeste von Evonymus verrucosus, Picea nigra. Die im dritten Satze erwähnte Torsion erfolgt bei den meisten Blättern nur, nachdem eine rückwärts concave Krümmung eingetreten ist, und ist, wie ich später zeigen werde, nur eine Folge der durch diese herbeigeführte einseitig stärkere Belastung. In Bezug auf den vierten Satz muss bemerkt werden, dass viele horizontale Zweige sich, nachdem sie in umgekehrter Lage horizontal gestellt wurden, nicht aufwärts, sondern abwärts krümmen. So z. B. Evonymus verrucosus, Abies Pichta.

Diese Thatsachen zeigen, dass die von Frank aufgestellten Regeln wenigstens nicht allgemein gültig sind. Da diese Sätze aber logisch aus seiner Hypothese des Transversal-Geotropismus, resp. Heliotropismus abgeleitet sind, so kann diese durch sie als genügend widerlegt betrachtet werden.

In dem letzten Theile seiner „Allgemeinen Gesetze" versucht Frank es darzuthun, dass der angebliche Transversal-Geotropismus, resp. Heliotropismus Eigenschaften der Zellhäute sind, wodurch er zu der Annahme einer Polarität in den einzelnen Zellen, ja in den einzelnen Zellhauttheilchen geräth: „es würde nämlich," sagt er Seite 80, „so zu sagen, jedes kleinste Zellhautstückchen wissen, wo Vorn und Hinten, wo Spitze und Basis, wo Rechts und Links ist." Er stellt ferner die allgemeinen Gesetze auf, nach welchen das Licht und die Schwere das Wachsthum polarer Zellhäute in den verschiedenen Richtungen ändern müssen, um die beobachteten Krümmungen und Achsendrehungen herbeizuführen, und unterscheidet später die polaren Zellhäute, je nach der Ursache unter deren Einfluss die Polarität erhalten wurde in autopolare, geopolare und heliopolare. Nach dem was ich über den Transversal-Heliotropismus und -Geotropismus im Allgemeinen angeführt habe, wird es einleuchtend sein, dass diesen Annahmen jede wissenschaftliche Grundlage fehlt, und brauche ich deshalb hier nicht näher auf ihre Erörterung einzugehen.

II. Ursachen der Richtung der Blätter.

Gewebespannung.

Die Spannungen der verschiedenen Gewebeparthien der Blattstiele sind bekanntlich in den Hauptsachen die nämlichen, wie sie bei Stengeln beobachtet werden, und ich brauche daher nicht weiter hierauf einzugehen.[1] Vollkommen stimmen diese Spannungen aber nicht mit denjenigen der

1) Einzelne Beispiele bei Sachs, Experimentalphysiologie S. 466; Hofmeister, Pflanzenzelle, S. 285 u. s. w.

Stengel überein, wie dieses schon von Sachs vermuthet worden ist: „Bei den gewöhnlichen Laubblättern scheinen die Gewebespannungen des Stiels, der Lamina, der Nerven in verschiedenem Grade auf Ober- und Unterseite vertheilt zu sein, so dass auch bei sehr ungünstiger Verlegung derselben, die durch Schwerkraft bewirkte Krümmung immer wieder dazu führt, die Oberseite zenithwärts zu wenden.“ [1] Zumal bei den Nerven lässt sich diese ungleichmässige Vertheilung der Gewebespannung sehr deutlich zeigen, und ich will diese daher hier näher untersuchen. Hierzu braucht man nur die Mittelrippe von den Seitennerven und dem Mesophyll der Spreite zu befreien, es gleichen sich dann zwar nicht die Spannungen, aber doch die Unterschiede der Spannungen auf den verschiedenen Seiten, wenigstens der Hauptsache nach aus.

Isolirt man eine kräftig entwickelte Rippe aus einem noch stark wachsenden Blatte, so biegt sie sich gewöhnlich mit der morphologischen Unterseite concav. Dieses Verhältniss ist bei den Blättern, deren Rippen deutlich von dem Mesophyll differenzirt sind, ein sehr allgemein verbreitetes; ich untersuchte nahe an zweihundert Arten aus den verschiedensten Verwandtschaftskreisen der Gefässpflanzen hierauf, und fand nur einzelne Ausnahmen, auf welche ich weiter unten zurückkommen werde.

Am besten führt man die Untersuchung so aus, dass man die ganze Rippe oder einen Theil derselben mit einem scharfen Messer von dem Mesophyll so weit lostrennt, dass sie nur noch mit dem unteren Ende dem Blatte angeheftet bleibt; man isolire die Spitze aber nicht mit, damit durch diese die beiden Hälften der Spreite verbunden bleiben. Hält man jetzt das Blatt in passender Lage gegen den Horizont, so behält die Spreite nahezu ihre ursprüngliche Form, die Rippe aber krümmt sich mit der Unterseite concav. Diese Krümmung ist je nach der Species eine verschieden starke; Beispiele sehr starker Krümmungen lieferten mir u. A. Asarum europaeum (wo ich Krümmungen von 2 Cm. Radius beobachtete) und Veratrum nigrum; Beispiele sehr schwacher Krümmungen Silene swertiaefolia u. A.; bei sehr vielen Arten ist die Krümmung (bei einem gewissen Alter) an der Spitze stärker als an der Basis, z. B. Lythrum Salicaria, Rumex domesticus.

Diese Krümmungen und die sie verursachenden Spannungen sind nicht in jedem Alter gleich stark. Anfangs sind sie gar nicht vorhanden, nehmen dann mit zunehmendem Alter zu, erreichen ihr Maximum wenn das Blatt nahezu seine definitive Grösse erreicht hat, und nehmen später wieder allmählig ab. Beim Aufhören des Wachsthums hören diese Spannungen natürlich auch auf. Sehr deutliche Beispiele liefern hierfür u. A. Clematis integrifolia und Sorbus alpina. Bei vielen Blättern, zumal bei denjenigen, wo die Mittelrippe im ausgewachsenen Blatte unten sehr kräftig, am oberen

---

1) Sachs, l. c. S. 97.

Ende aber ziemlich dünn ist, ist die Abhängigkeit der Spannung von dem Alter etwas verschieden. Während sie zuerst auf der ganzen Länge gleichmässig entsteht und zunimmt, bleibt sie nach dem Erreichen ihres Maximums nicht mehr gleichmässig, sondern hört zuerst an der Basis des Blattes auf; später wird die krümmungsfähige Strecke immer kleiner, indem sie immer den oberen Theil des Blattes einnimmt, dabei werden die beim Isoliren entstehenden Krümmungen immer geringer, bis endlich die ganze Rippe starr geworden ist. Der Uebergang aus dem gespannten in den spannungslosen Zustand schreitet also von der Basis allmählig bis an die Spitze heran. Diese Regel gilt zunächst nur für Blätter mit basifugalem Wachsthum, ein gutes Beispiel liefert Inula bifrons.

Das Verhalten derjenigen Blätter, bei denen die morphologische Unterseite die Lichtseite bildet, kenne ich leider nur aus Beobachtungen an Arten aus der Gattung Alstroemeria. Die Blätter dieser Gattung drehen sich nach dem Austreten aus dem Knospenzustande an ihrer schmalen Basis so um ihre Achse, dass der grössere Theil der Spreite um 180° gedreht wird, wodurch also in den erwachsenen Blättern die Unterseite nach oben schaut. Diese letztere Seite ist, physiologisch und anatomisch betrachtet, die Lichtseite des Blattes. Bei allen von mir untersuchten Arten dieser Gattung (A. aurantiaca, A. Ehrenbaulti, A. haemantha und A. psittacina) zeigte sich, dass die Mittelrippe sich nach dem Isoliren auf der Lichtseite, d. i. also auf der morphologischen Unterseite concav krümmte, vorausgesetzt, dass die Blätter in dem geeigneten Altersstadium untersucht wurden.

Mit den bisher besprochenen Krümmungen, welche bei dem Isoliren der Rippe in einer auf die Blattfläche senkrechte Ebene erfolgen, sind bei vielen Arten solche verbunden, die in einer anderen Ebene stattfinden. Die Rippe biegt sich in diesen Fällen zwar nach unten, krümmt sich aber so, dass eine Seitenkante concav, und also die andere convex wird. Es kann hierbei die Krümmungsebene sich, je nach den Arten, mehr oder weniger der Medianebene des Blattes nähern. Beispiele, wo diese schiefen Krümmungen sehr deutlich sind, lieferten mir u. m. A. Beta trigyna, Hydrangea arborescens, Ulmus campestris. Bei den Einzelblättchen zusammengesetzter Blätter findet man, wo die Krümmungen in schiefer Ebene stattfinden, gewöhnlich eine bestimmte Beziehung zwischen der Richtung dieser Ebene und die Orientirung des Blattes. So ist z. B. bei Staphylea pinnata die convexe Seite der isolirten Rippen der Seitenblättchen immer gegen die Spitze des Blattes gerichtet, während die Rippe des Endblättchens sich in der Medianebene krümmt. Bei S. trifolia ist es hingegen die concave Seite der isolirten Rippen der Seitenblättchen, welche nach der Spitze des ganzen Blattes hinschaut.

Bei denjenigen Blättern, deren Rippe nur wenig von dem Mesophyll differenzirt ist, oder bei denen der Nerv sogar allseitig von dem Parenchym

umgeben ist, sind Spannungen der hier behandelten Art nicht vorhanden, und werden also bei dem Isoliren der Rippen keine Krümmungen beobachtet. So bei manchen Gräsern, bei der Gattung Sedum und andern Crassulaceen, bei vielen Arten der Gattung Saxifraga u. a. m.

Bei den meisten Coniferen sind bekanntlich die Nerven der Blätter ganz von dem Parenchym umgeben, an den hier stattfindenden Spannungen sind also wahrscheinlich noch andere Gewebepartien der Blätter activ betheiligt als die Nerven. Ein sehr deutliches Beispiel der Gewebespannungen der Blätter dieser Gruppe liefert Pinus Nordmanniana. Als ich noch wachsende Blätter dieser Art durch zwei der Medianebene parallele Schnitte in drei gleiche Theile theilte, diese aber an der Basis des Blattes in Verbindung liess, so klaffte der mittlere Streifen nach oben, wobei seine Oberseite ziemlich stark concav wurde, während die beiden seitlichen Streifen ihre Unterseite concav krümmten, wenn auch ihre Krümmung weniger stark war als die des mittleren Streifens. Auch bei andern Arten beobachtete ich dieses Verhältniss, obgleich weniger ausgeprägt. z. B. Pinus Pinsapo, Abies firma. Noch andere Coniferen mit flachen Blättern zeigten mir aber keine derartige Spannungserscheinungen.

Die Ausnahmen von der anfangs erwähnten Regel, dass bei Blättern mit deutlich differenzirten Rippen, diese letzteren sich beim Isoliren mit der Unterseite concav krümmen, lassen sich in zwei Gruppen zusammenfassen.

Die eine Gruppe bilden diejenigen Pflanzen, deren Blätter normal entweder gar keine Spannung besitzen, oder deren Rippen bei dem Isoliren sich mit der Oberseite concav krümmen. Es sind mir nur wenige Arten bekannt, welche dieses Verhältniss zeigen, darunter gehören z. B. Lonicera pyrenaica und L. Ledebouri (letztere hat aber diese Eigenschaft nicht in allen Blättern). Bei Vitis vinifera beobachtete ich meist auch, dass die Rippen beim Isoliren ihre Oberseite concav krümmen, jedoch fand ich nicht selten, dass in der Spitze des Blattes das umgekehrte stattfand, ja öfters klafft die untere Hälfte nach vorne concav, während der obere Theil sich nach hinten concav krümmt.

Die andere Gruppe bilden die kaputzenförmigen Blätter mit convexer Oberseite, welche man bisweilen unter den normalen Blättern an den verschiedensten Arten beobachtet. Die Ursache dieser Form liegt in dem relativ zu geringen Wachsthume des Umfangs des Blattes, und dem relativ zu starken der in der Mitte gelegenen Theile, wie leicht aus einer Zerlegung des Blattes hervorgeht. Wodurch dieses abnormale Verhältniss des Wachsthums der verschiedenen Theile in jedem einzelnen Falle entsteht, muss hier einstweilen unentschieden bleiben, in einigen Fällen kam es mir vor, als ob ein theilweises Erfrieren des Gewebes am Rande die Ursache war. Bei etiolirten Pflanzen ist die Kaputzenform der Blätter nicht selten; hier ist es das verminderte Wachsthum des Mesophylls und das

gesteigerte der Nerven, welches die Form herbeiführt. Bei den von mir untersuchten kaputzenförmigen Blättern klaffen die stärkeren Rippen immer nach oben, wobei sie öfters gerade werden, öfters sogar ihre Oberseite concav biegen. So z. B. bei Menispermum dahuricum, M. canadense, Tilia grandifolia und T. rubra. Bei den kaputzenförmigen Blättern von Lonicera pyrenaica klafft die isolirte Rippe stärker aufwärts als bei den gewöhnlichen Blättern dieser Art.

Dass die Thatsache, dass die Oberseite der Rippe in diesen Blättern eine stärkere Spannung besitzt als die Unterseite mit ihrer Form ursächlich zusammenhängt, lässt sich unschwer nachweisen. Man braucht dazu einfach ein noch wachsendes kaputzenförmiges Blatt an der Pflanze selbst so umzukehren, dass die vorher convexe Oberseite concav wird. Isolirt man an einem solchen Blatte die Rippe nach ein oder zwei Tagen, so klafft sie nach unten, und wird meist grade, bisweilen auch auf der Unterseite concav. Sehr deutlich sah ich dieses bei Menispermum dahuricum. Man kann auch bei Blättern, deren Oberseite von Natur concav ist, dadurch, dass man diese zur convexen Seite macht, eine nach vorn concave Krümmung der Rippe herbeiführen, wenn letztere nach ein oder zwei Tagen isolirt wird. So bei Menispermum-Arten, Aristolochia Sipho. Auch bei Clematis integrifolia, deren junge Blätter in normalem Zustande alle die Oberseite concav haben, und die isolirte Rippe stark nach hinten concav biegen, gelang es mir durch Umkehrung der Blätter zu verursachen, dass die Rippe beim Isoliren ihre Oberseite concav krümmte.

Nach diesen Untersuchungen darf man es als ziemlich allgemeine, wenn auch nicht ausnahmslose Regel betrachten, dass die kräftig entwickelten Rippen noch wachsender Blätter sich bei dem Isoliren nach hinten concav krümmen. In solchen Blättern strebt also die Rippe immer diese Krümmung anzunehmen, wird aber daran durch die Spreite gehindert. Es leuchtet ein, dass die Ursache dieser Spannung ein stärkeres Wachsthum der Rippen auf ihrer Oberseite als auf ihrer Unterseite ist.

Methode der Untersuchungen.

Ehe ich dazu übergehe meine Versuche und deren Resultate aufzuführen, will ich eine ausführliche Beschreibung der von mir benutzten Methode liefern.

Hauptzweck bei sämmtlichen Untersuchungen war es, die Versuchsgegenstände so einfach als möglich zu wählen, und sie jedesmal unter solche Umstände zu bringen, dass von den in der Natur auf sie einwirkenden Ursachen so viele wie nur möglich ausgeschlossen waren, die übrigen aber theilweise in ihrer Wirkung schon im Voraus bekannt, theilweise mit diesen so combinirt, dass aus der Vergleichung je zweier Versuchsgegenstände ihre Wirkung erschlossen werden konnte. Zu jedem ein-

zelnen Versuch wurden also zwei völlig gleiche Objecte benutzt, auf welche die zu untersuchende Ursache in entgegengesetzter Weise einwirkte; der Unterschied der von beiden ausgeführten Bewegungen konnte dann als Folge dieser Ursache betrachtet werden. In einigen kleineren Versuchsreihen wurde, je nach Umständen, eine Vereinfachung dieser Methode vorgenommen, auf welche ich erst bei der Beschreibung jener Versuche eingehen werde. Um das Speciellere der Methode geläufiger aus-einander setzen zu können, halte ich bei der Beschreibung nur den einen Fall im Auge, wo es sich darum handelt, die Wirkung der Schwere auf die Blätter zu untersuchen; die für die Versuche über Heliotropismus, oder für diejenigen mit Stengelorganen stattfindenden Abänderungen werde ich gelegentlich der Behandlung dieser mittheilen.

Ich benutzte stets Blattstiele ohne Spreite, oder Blattrippen an denen die Seitenrippen und das Mesophyll entfernt worden waren. Von den Blattrippen wurde immer der dritte Theil an der Spitze entfernt, weil dieser, wie vorher gezeigt wurde, sich beim Isoliren meistens stark krümmt, und also unbequem für die Untersuchung ist. Die so vorbereiteten Objecte wurden in einen grossen völlig dunklen Zinkkasten, dessen Boden mit feuchtem Sand bedeckt war, und dessen Raum also immer sehr feucht war, horizontal so befestigt, dass das untere Ende in den dazu an den Wänden höher liegenden Sand hineingesteckt wurde, und das Uebrige frei hervorragte, ohne den Sand des Bodens zu berühren. In jedem Versuche dauert der Aufenthalt in diesem dunklen Raum 21—24 Stunden.

Durch diese Einrichtung der Versuche werden die Wachsthumsbedingungen andere als sie an der Pflanze in der freien Natur sind. Die feuchte Luft bringt die Organe in starke Turgescenz, die Dunkelheit macht sie etioliren, die Entfernung der Spreite befreit die Rippen von den durch diese hervorgerufenen Spannungen und die Blattstiele von der zu tragenden Last, während sie vielleicht in einigen Fällen die Ernährung beeinträchtigt. Auch die Trennung des Organs von der Pflanze muss schädlich auf die Ernährung wirken. Auf den Einfluss, welchen die Anwesenheit oder Abwesenheit des Spreite auf die Krümmungen ausübt, werde ich später noch zurückkommen. Ueber den Einfluss der Turgescenz und der Dunkelheit habe ich einige Versuche mit vertikalen Sprossen angestellt, da für ihr Studium die Wahl des Materials gleichgiltig ist, und gefunden, dass beide sowohl das Wachsthum als die Schnelligkeit der Krümmung fördern, dass aber diese Förderung eine so geringe ist, dass sie meistens schon durch einen Temperaturunterschied von 1—2° C. (bei einer Temperatur von 20—25° C.) aufgehoben oder umgekehrt werden kann. Bei der Betrachtung der Resultate der Hauptversuchsreihen braucht man also nicht weiter Rücksicht auf diese beiden Umstände zu nehmen. Was auch immerhin der Einfluss aller genannten Umstände sein möge, in denen die Versuchsgegenstände von den in der freien Natur wachsenden abweichen, immer waren

sie für die verschiedenen Exemplare eines und desselben Versuches völlig gleich, und somit beeinträchtigen sie die Vergleichbarkeit dieser Exemplare in keiner Beziehung.

Zu jedem einzelnen Versuch wurden zwei Blattstiele (resp. Blattrippen) einer Art benutzt, welche einander so genau wie möglich gleich waren, und der eine mit der morphologischen Oberseite nach oben, der andere mit dieser Seite nach unten horizontal hingelegt. Erfordernisse der Gleichheit sind gleiche Grösse aller Theile des Blattes, gleiche natürliche Richtung der beiden Blätter in Beziehung zum Horizont, gleiches Alter, und gleiches Wachsthum. Nur wenn diese Erfordernisse erfüllt sind, kann man aus der Vergleichung der Krümmung beider Objecte einen Schluss ziehen. An die nähere Erörterung dieser Bedingungen der Vergleichbarkeit lässt sich die Besprechung einiger zur genaueren Orientirung über die Hauptfrage nothwendigen Verhältnisse von selbst anreihen.

Die gleiche Grösse zweier zu vergleichender Blätter in allen Theilen und die annähernd gleiche Alterstufe sind die Merkmale, nach denen man die zu benutzenden Exemplare aus der Masse des Materials heraussuchen kann. Um gleichaltrige Exemplare zu erhalten, kann man sich u. a. zu opponirten Blättern wenden, doch nur wenn diese eine gleiche Neigung zum Horizont besitzen, da sie sonst ungleichmässig entwickelt sind, wie diess von WIESSNER [1]) angegeben worden ist, und wie ich vielfach die Gelegenheit hatte zu bestätigen. Aus derselben Ursache ist es auch besser im Allgemeinen Blätter mit gleicher Richtung auszuwählen, weil sonst die Aussicht, dass sie sich gleich verhalten werden, nur eine geringe ist.

Das Alter hat auf die geotropischen Krümmungen einen ziemlich grossen Einfluss. Während bei den meisten Blattstielen und Blattrippen die Fähigkeit sich unter dem Einfluss der Schwere zu krümmen, bei ihrem Auftreten gleichmässig über das ganze Organ vertheilt ist, sondert sich später in vielen Fällen eine stark krümmungsfähige Stelle von dem dieser Bewegung weniger fähigen Theile ab. Diese Stelle befindet sich, bei den basifugal wachsenden Blättern anfangs am Grunde des Organs, und steigt wie das Maximum des Wachsthums, selbst an diesem hinauf bis sie den Gipfel erreicht und so die Krümmungsfähigkeit erlischt. Sehr deutlich überzeugt man sich u. a. hiervon, wenn man die Blattstiele eines Sprosses von Delphinium (ich untersuchte D. elatum) von ihren Spreiten und dem Sprosse trennt, und sie horizontal in dem dunklen feuchten Raum so befestigt, wie dieses oben angegeben ist. Sowohl wenn bei allen die morphologische Oberseite nach oben gewendet ist, als wenn diese Seite bei allen nach unten schaut, sieht man am Ende des Versuchs (also nach

1) WIESSNER, Beobachtungen ub. d. Einfl. d. Erdschwere auf Grossen- u. Formverhältnisse d. Blätter, Sitzungsber. d. k. Acad. d. Wiss. Wien LVIII. Nov. 1868.

24 Stunden) die jüngeren in ihrer ganzen Länge gekrümmt, die nächstälteren nur an einer Stelle, welche dem Gipfel der Blattstiele desto näher liegt, je älter dieser ist, bis die ältesten sich gar nicht mehr gekrümmt haben. Gleichaltrige Organe sollen sich also in dem Versuche an der nämlichen Stelle krümmen.

Es ist hier der Ort, über die Art der auftretenden Krümmungen und die Messung derselben einiges mitzutheilen. Der gekrümmte Theil ist zwar, mathematisch betrachtet, kein Kreisbogen, doch in weitaus den meisten Fällen kann man ihn ohne erheblichen Fehler als einen solchen betrachten. Es wird demnach die Krümmung durch den Krümmungsradius gemessen, das ist also durch den Radius des Kreisbogens, welchen der gekrümmte Theil bildet. Die in Graden ausgedrückte Grösse des Bogens hängt nur von diesem Radius und von der Länge des krümmungsfähigen Theiles ab, für eine anschauliche Vergleichung der Krümmungen hat sie also keinen Werth. Die Grösse des krümmungsfähigen Theiles ist bei verschiedenen Arten eine sehr verschiedene, und meistens ist die Krümmung desto stärker, der Krümmungsradius also desto kleiner, als dieser Theil selbst kleiner ist. Zum Bestimmen des Krümmungsradius benutzte ich einen mit concentrischen Kreisen ausgestatteten Carton; die Radien der Kreise hatten die Längen von 1, 2, 3 u. s. w. bis zu 25 Cm., von zehn zu zehn Grad waren, der Uebersichtlichkeit wegen, radiale Linien gezogen. Krümmungen von mehr als 25 Cm. Radius wurden als gerade betrachtet, da ihre genauere Messung zum Theil unmöglich, zum Theil nutzlos ist. Durch Anpassen des gekrümmten Theiles auf die einzelnen Kreise suchte ich jenen heraus mit dem die zumessende Krümmung übereinstimmte; der Radius jenes Kreises war der gesuchte Krümmungsradius. Die beobachtete Grösse des Bogens betrug in weitaus den meisten Fällen nicht 90°. [1])

Eine Hauptsache bei derartigen vergleichenden Untersuchungen ist es, dass man die Grösse des Wachsthums während des Versuchs bestimmt, um einerseits zu wissen, ob überhaupt Wachsthum stattgefunden hat, und

---

1) Die hier beschriebene Methode giebt ein anschaulicheres Bild von den beobachteten Krümmungen, als die bis jetzt allgemein befolgte, welche die in Graden ausgedrückte Grösse des Bogens in den Tabellen verzeichnete. Es leuchtet ein, dass ein Organ um so stärker gebogen ist, je kleiner der Krümmungsradius des von ihm gebildeten Bogens; umgekehrt kann man in den Tabellen aus einem kleineren Krümmungsradius immer ohne Weiteres auf eine stärkere Krümmung schliessen. Ist aber die Grösse des Bogens in Graden angegeben, so muss auch die Länge des gekrümmten Theiles bekannt sein, um eine Vergleichung zu gestatten. Man könnte zwar, in dieser Methode, entweder die Länge des Organs oder die Grösse des Bogens für alle zu vergleichenden Fälle gleich gross nehmen, würde dann aber doch nicht ein so anschauliches Bild von den Krümmungen bekommen, als durch die einfache Angabe des Krümmungsradius.

Den einfachen, oben beschriebenen Apparat könnte man Cyclometer nennen.

um andererseits zu controliren, ob beide zu vergleichende Exemplare gleichviel gewachsen sind, denn von dem Wachsthum hängt es ab, ob überhaupt eine Krümmung stattfinden wird, und wie stark diese sein wird. Nur wenn das Wachsthum beider Exemplare gleich stark war, können die Krümmungen unter sich verglichen werden. Alle Versuche, in denen kein gleiches Wachsthum stattfand, sind als ungiltig zu betrachten, und deshalb zu verwerfen; Ausnahme hiervon machen nur diejenigen Versuche, in denen das am stärksten gekrümmte Exemplar am wenigsten gewachsen war. In diesen würde der Unterschied der Krümmungen in dem nämlichen Sinne (und etwas grösser) ausgefallen sein, wenn beide Exemplare gleichviel gewachsen wären, man kann also auch diesen eine Beweiskraft zusprechen. Wo das am stärksten gekrümmte Exemplar am raschesten gewachsen war, kann die stärkere Krümmung stets als eine Folge des stärkeren Wachsthums betrachtet werden, solche Versuche lehren also nichts über die Wirkung der untersuchten Kraft.

Um das Wachsthum zu bestimmen, trug ich mit Tusche vor Anfang jedes Versuchs zwei Marken auf das Organ auf, und wählte die Stelle dazu so, dass der muthmaasslich krümmungsfähige Theil zwischen beiden lag, ohne übrigens ihren Abstand grösser zu machen als dieses dazu nöthig war. Bei je zwei zu vergleichenden Exemplaren hatten die Marken eine correspondirende Lage, wodurch sie einen correspondirenden und annähernd gleich grossen Theil des Organes umschlossen. Vor Anfang des Versuchs, und an dessen Ende wurde der Abstand beider Marken an den dazu grade gebogenen Objecten gemessen, die Differenz beider Messungen gab den Zuwachs während des Versuchs. Die Messungen konnten auf 0,5 Mm. genau ausgeführt werden; der Unterschied der Zuwachse zweier zu vergleichenden Exemplare dürfte also nicht 1,0 Mm. erreichen, sonst wurde der Versuch als ungiltig betrachtet. Ausnahme hiervon machten nur diejenigen Versuche, wo das am stärksten gekrümmte Exemplar am wenigsten gewachsen war; hier dürfte, wie schon bemerkt, der Unterschied etwas grösser sein, jedoch nicht soviel, dass dadurch die Vergleichbarkeit der beiden Exemplare als unvollständig erschien. Die Marken wurden fast immer auf die morphologische Oberseite, selten auf eine Seitenkante, oder auf die Unterseite aufgetragen.

Etwaige Krümmungen, welche im Anfang eines Versuchs, zumal bei Blattrippen, bisweilen dadurch entstehen, dass die Erhöhung der Turgescenz nicht auf allen Seiten gleich rasch vor sich geht, oder Krümmungen, welche nicht mit Längenzunahme, zuweilen sogar mit Verkürzung, und mit Erschlaffung verbunden sind, müssen natürlich ausser Betracht gelassen werden.

Ueber die Methode habe ich nur noch zu bemerken, dass die zu benutzenden Objecte so viel wie möglich in geraden Exemplaren ausgewählt werden, und dass wo dieses nicht thunlich war, die Anfangskrümmung stets in den Tabellen verzeichnet wurde.

Geotropismus, Epinastie, Hyponastie.

Zwei Ursachen, deren jede für sich eine Krümmung in dem untersuchten Organ veranlassen kann, sind aus keinem Versuche auszuschliessen, und ich werde diese deshalb zuerst der Untersuchung unterwerfen. Es sind diess der Einfluss der Schwere, und ein etwaiger Unterschied in der Wachsthumsfähigkeit der morphologisch verschiedenen Seiten, also hauptsächlich der Oberseite und der Unterseite. Die Frage, um welche es sich hier handelt, kann also so gefasst werden: krümmen sich Blattstiele und Mittelrippen unter dem Einfluss der Schwere aufwärts, wenn sie horizontal hingelegt werden, und welchen Einfluss hat es hierauf, ob die morphologische Oberseite dabei oben oder unten liegt.

Im Folgenden will ich diejenige Lage der Organe, wo ihre morphologische Oberseite oben liegt, die normale, diejenige wo diese Seite unten liegt, die inverse nennen.

Die befolgte Methode ist, wie ich schon erwähnte, genau die in der vorhergehenden Abtheilung beschriebene. Meine Versuche enthält die hier folgende Tabelle. Für jeden einzelnen Versuch dienten zwei Exemplare, das normale und das inverse. An diesen wurde bestimmt, 1) die Länge des ganzen, welche für beide die nämliche war (2. Spalte), 2) die im Anfang des Versuchs schon vorhandene Krümmung wenn etwa eine solche da war (3. und 4. Spalte); die am Ende des Versuchs beobachteten Krümmungen (5. und 6. Spalte) und das Wachsthum während des Versuchs. In der letzten Spalte ist angegeben, in welchem Theile der benutzten Organe die Krümmung stattgefunden hatte. In den Doppelspalten der Anfangskrümmung, der am Ende des Versuchs beobachteten Krümmung und des Wachsthums enthalten die einzelnen Spalten A die Zahlen, welche die an den normalen Exemplaren beobachteten Werthe angeben, in den Spalten B sind die Zahlen verzeichnet, welche durch die inversen Exemplare geliefert worden sind. Die Zahlen der 3. bis 7. Spalten sind die in Centimetern ausgedrückten Krümmungsradien; diese sind positiv wenn die Krümmung concav nach oben war, negativ wenn sie concav nach unten war. Als Wachsthum ist der direkt durch die Differenz des Abstandes der Marken, vor und am Ende des Versuchs gegebene absolute Zuwachs angegeben und in Millimetern ausgedrückt. Die Reihenfolge der Versuche ist der Uebersichtlichkeit halber so gewählt. Die zu den Versuchen benutzten Exemplare befanden sich alle in dem Altersstadium, das dem Ende des Wachsthums zunächst vorangeht, also die Blattrippe in jenem Stadium, in welchem ich die vorher behandelte Spannung zwischen Rippe und Spreite beobachtete, und zwar war die Krümmung bei der Isolirung meistens nur an der Spitze stark, in den untern zwei Dritteln der Rippe nicht oder kaum bemerklich. Wollte man jüngere Stadien nehmen, so würde die Krüm-

mung der Rippe beim Isoliren vielfach die Resultate des Versuchs verundeutlichen.

In der Tabelle führe ich für jede Species nur einen Versuch an, für die meisten Species habe ich deren zwei bis drei gemacht, in denen das Hauptresultat das nämliche, wenn auch die Grösse der beobachteten Krümmungen eine verschiedene war.

Arten.	Totallänge d. Organs, in Cm.	Krümmungsradien in Cm. beim Anfang.		Krümmungsradien in Cm. am Ende.			Wachsthum während des Versuchs, in Mm.			Nähere Beschreibung des gekrümmten Theils.
		A	B	A	B	Diff.	A	B	Diff.	
I. Reihe. Epinastie schwächer als Geotropismus.										
A. Blattstiele.										
Aquilegia speciosa	5.5	—	—	12	4	—8	2.0	2.0	0	3 Cm. lange Strecke der Mitte.
Delphinium elatum	10.5	—	—	8	4	—4	4.0	3.5	—0.5	5 Cm. lange Strecke der Mitte.
Petasites alba	24	—	24	12	8	—4	3.5	2.0	—1.5	3 Cm. lange Strecke des unteren Theils.
Tiarella cordifolia	7.5	—	—	10	5	—5	1.0	1.0	0	3 Cm. lange Strecke des mittl. Theils.
Fragaria collina	4.5	20	—10	3	2	—1	2.5	3.0	0.5	Untere Hälfte.
Calla palustris	10.5	—	—	3	2	—1	4.0	4.5	0.5	Ganz.
B. Allgemeine Blattstiele gefiederter Blätter.										
Clematis recta	6	—	—	11	5	—6	1.5	1.0	—0.5	Ganz.
Sambucus nigra	8	—	—	5	4	—1	0.5	1.0	0.5	,,
Spiraea sorbifolia	7	—	—	15	2.5	-12.5	3.0	2.0	—1.0	Untere Hälfte.
Valeriana Phu	7	—	—	9	6	—3	2.5	1.0	—1.5	Obere Hälfte.
Spiraea Ulmaria	21	—	—	7	5	—2	3.5	3.5	0	6 Cm. lange Strecke der Mitte.
Juglans regia	20	—	—	12	4.5	—7.5	1.5	1.5	0	5 Cm. lange Strecke des oberen Theils.
C. Seitenblattstiele doppeltgefiederter Blätter.										
Levisticum officinale	13	—	—	8	7	—1	2.5	1.0	—1.5	Ganz.
Cimicifuga racemosa	13	—	—	12	5	—7	2.5	3.0	0.5	Obere Hälfte.
D. Blattrippen, welche durch das Mesophyll gespannt waren. [1]										
Inula bifrons	18	—	—	18	9	—9	2.5	1.5	—1.0	7 Cm. lange Strecke des unteren Theils.
Rumex Patientia	32	—	—	12	8	—6	4.5	4.0	—0.5	Untere Hälfte.
Scrophularia nodosa	4	7	—12	5	3	—2	2.0	0.5	—1.5	,, ,,
Silene swertiaefolia	3.8	—	—	1.5	1	—0.5	2.0	1.5	—0.5	,, ,,
Ulmus campestris	8	—	—	7	3	—4	2.5	2.0	—0.5	,, ,,
E. Blattrippen ohne Spannung durch das Mesophyll.										
Sedum purpurascens	4.8	—	—	25	2	—23	1.5	1.5	0	Untere Hälfte.

1) Die Spannung war meist nur noch in den Spitzen, welche nicht mit zu dem Versuche benutzt wurden, sichtbar.

Arten.	Totallänge d. Organs, in Cm.	Krümmungsradien in Cm. beim Anfang. A	beim Anfang. B	am Ende. A	am Ende. B	am Ende. Diff.	Wachsthum während des Versuchs, in Cm. A	B	Diff.	Nähere Beschreibung des gekrümmten Theils.
II. Reihe. Epinastie gleich oder grosser als Geotropismus										
A. Blattstiele.										
Acer Opalus	2	—	—	—	7		1.0	1.0	0	Ganz.
Acer Pseudoplatanus	3	—	—	—4	3	—1	1.0	1.0	0	,,
Macleya cordata	7	—	—	—	9		1.0	1.0	0	,,
B. Allgemeine Blattstiele gefiederter Blätter.										
Orobus laevigatus	15	—	—	—	16		3.5	3.0	—0.5	Ganz.
Rubus Idaeus	15	—	—	—	5		1.0	1.0	0	Obere Hälfte.
Cystopteris alpina	23	—	—	—	2		3.0	2.5	—0.5	3 Cm. lange Strecke unter dem aufgerollten Ende.
Sambucus nigra	10	—	—	—	5.5		1.0	1.0	0	2.5Cm. langeStrecke des unteren Theils.
C. Seitenblattstiele doppeltgefiederter Blätter.										
Aralia spinosa	135	—16	16	—10	5	—5	3.0	2.5	—0.5	Ganz.
Archangelica sativa	10	—	—	—20	9	—11	1.5	1.5	0	,,
Levisticum officinale	7	—	—	—	9		2.0	1.5	—0.5	,,
D. Mittelrippen, welche durch das Mesophyll gespannt waren.[1]										
Stachys lanata	5.5	—	—	—3	2	—1	1.5	1.0	—0.5	Obere Hälfte.
Saxifraga cordifolia	16	—	—	—	12		1.5	1.0	—0.5	Untere Hälfte.
Scrophularia nodosa	10	—	—	—	4.5		1.0	0.5	—0.5	,, ,,
Tilia grandifolia	8	—	—6	—14	9	—6	1.5	1.5	0	,, ,,
III. Reihe. Keine epinastische Differenz.										
Menyanthes trifoliata	10	—	—	5.5	5 5	0	2.0	1.5	—0.5	Ganze Blattstiele.

In den, in die erste Reihe zusammengebrachten Versuchen hatten sich alle Exemplare aufwärts gekrümmt; diese Krümmung war immer stärker wenn die Oberseite unten lag, als im umgekehrten Fall. In den Versuchen der zweiten Reihe haben die normalen Exemplare sich entweder gar nicht, oder abwärts gekrümmt; die inversen krümmten sich aufwärts; ihre Krümmung war aber bei jeder Species stärker als die der abwärts gekrümmten Exemplare der nämlichen Art. In dem Versuche der dritten Reihe krümmte sich das normale Exemplar eben so stark aufwärts als das inverse.

Sieht man einstweilen von diesem letzten Versuche ab, so ist die einfachste Erklärung der gefundenen Thatsachen, die Annahme dass

1) die Blattstiele und Blattrippen negativ geotropisch sind,

2) in den Blattstielen und Blattrippen die morphologische Oberseite eine stärkere Wachsthumsfähigkeit besitzt als die Unterseite.

---

1) Die Spannung war meist nur noch in den Spitzen, welche nicht mit zu dem Versuche benutzt wurden, sichtbar.

Der zweiten Annahme zufolge muss also das Gewebe der Oberseite unter völlig gleichen Umständen, also wenn alle äusseren Umstände allseitig gleichmässig einwirken, stärker in die Länge wachsen, als das der Unterseite, eben so wie in vertikalen Stengeln das Mark rascher wächst als die Rinde.

Schimper[1]) nannte horizontale oder schiefe Pflanzenorgane, deren Oberseite stärker in die Dicke wächst als ihre Unterseite: Epinastische, und man kann die Bedeutung dieses Wortes meiner Ansicht nach auf solche Organe ausdehnen, deren Oberseite stärker in die Länge wächst als ihre Unterseite. Ich will deshalb im Folgenden, die zweite, vorläufig noch unerwiesene Eigenschaft der Blätter Epinastie, etwaige nur durch diese veranlasste Krümmungen epinastische Krümmungen, und den Unterschied der Wachsthumsfähigkeit beider Seiten die epinastische Differenz nennen. [2])

Wo in den in der Tabelle verzeichneten Versuchen die Oberseite unten lag, bewirkten diesen beiden Annahmen nach, der Geotropismus und die Epinastie jede für sich eine Aufwärtskrümmung, und ihre Wirkung summirte sich also; wo die Oberseite oben lag wirkten diese beiden Ursachen einander entgegen, da die zweite eine Abwärtskrümmung hervorzurufen suchte. Dementsprechend haben sich alle inversen Exemplare aufwärts gekrümmt; bei den normalen wurde das Entstehen und die Richtung der entstehenden Krümmung durch das Verhältniss beider Ursachen bestimmt. Wo der Geotropismus stärker wirkte als die Epinastie musste eine Aufwärtskrümmung eintreten, die aber geringer war als jene der inversen Exemplare; hierher gehören also die Versuche der ersten Reihe der Tabelle. Wo der Geotropismus der epinastischen Differenz gleich war fand gar keine Krümmung statt, und wo der Geotropismus kleiner war als diese Differenz, musste eins Abwärtskrümmung erfolgen, wie dieses auch in den Versuchen der zweiten Reihe ersichtlich ist.

Einige Arten (Sambucus, Levistium, Scrophularia) sind sowohl in der ersten Reihe als in der zweiten verzeichnet. Dieses deutet darauf hin, dass das Verhältniss zwischen Geotropismus und epinastischer Differenz nicht ein für jede Art bestimmtes, sondern von anderen Umständen (zumal vom Alter) abhangendes ist.

Bei dem Versuche mit Menyanthes (III. Reihe) war offenbar keine Epinastie vorhanden. Die Blattstiele dieser Pflanze sind aber, morphologisch betrachtet, keine bilateralen Gebilde; wenn die Scheide und der An–

---

1) Amtl. Bericht. Naturforschervers. in Gottingen 1854. S. 87; citirt bei Hofmeister, Allg. Morphol. d. Gewächse. S. 604.

2) Wenn die epinastischen, und die später zu erwähnenden hyponastischen Krümmungen, die ihnen entgegenwirkenden Krümmungsursachen überwinden, so entstehen in der freien Natur die Nutationen der Blätter; statt vieler Beispiele sei nur das eine der Farrnkräuter genannt, bei denen die Einrollung der Blätter durch Hyponastie, die spätere Entrollung durch Epinastie verursacht wird.

heftungspunkt der Blättchen entfernt sind, kann man an ihnen äusserlich die Oberseite nicht mehr von der Unterseite unterscheiden. Die übrigen untersuchten Pflanzentheile sind alle mehr oder weniger ausgeprägt bilateral-symmetrisch; es gilt also die zweite Annahme nur für die bilateral-symmetrischen Blattstiele und Blattrippen.

Es ist nun nicht schwer den Beweis zu liefern, dass die beiden bis jetzt nur zur Erklärung aufgestellten Hypothesen wahr sind. Man braucht dazu einfach die beiden krümmenden Ursachen auf eine andere Art zu combiniren. Dieses erreicht man z. B. dadurch, dass man die Blattstiele und Rippen horizontal auf die Seite legt, so dass also beim Anfang des Versuchs ihre Medianebene horizontal liegt. Unter diesen Umständen wird der Geotropismus eine Aufwärtskrümmung in vertikaler Ebene hervorzurufen suchen, die Epinastie aber eine Krümmung in horizontaler Ebene. Die Resultirende wird eine Krümmung in schiefer Ebene sein, bei welcher die convexe Seite von der Grenzlinie zwischen der morphologischen Oberseite und derjenigen Seite, welche beim Anfang des Versuchs nach unten schaute, gebildet werden wird. Der Winkel, den die schiefe Ebene mit der Vertikalen macht, wird durch die relative Intensität beider componirenden Ursachen bestimmt.

Die Resultate der von mir hierüber angestellten Versuche entsprechen diesen Forderungen auf das Genaueste, wie die folgende Tabelle zeigt. In dieser enthält die dritte Spalte den Winkel, den die Krümmungsebene am Ende des Versuchs mit der Vertikale bildet. Je kleiner dieser Winkel, je grösser die Intensität des Geotropismus im Verhältniss zu der epinastischen Differenz. Die fünfte Spalte enthält die Radien der Krümmungen, welche die Versuchsobjecte am Ende des Versuchs in der Krümmungsebene besassen; es sind also in der Tabelle keineswegs die geotropischen Krümmungen, von den epinastischen getrennt, wie dieses etwa durch Projektion auf eine horizontale und auf eine vertikale Ebene hätte geschehen können. Die Zahlen werden jedoch genügen den ausgesprochenen Satz zu beweisen. Die sechste Spalte enthält das absolute Wachsthum der krümmungsfähigen Stelle während des Versuchs, in Millimetern.

Ich habe für jede Art eine Reihe von Versuchen gemacht, führe hier aber immer nur einen an.

Die Versuche sind, mit Ausnahme der oben angegebenen Punkte, genau nach der in der vorigen Abtheilung beschriebenen Methode angestellt.

Arten.	Totallänge d. Organs, in Cm.	Winkel der Krümmungsebene mit der Vertikale.	Krümmungsradien in Cm.		Wachsthum während des Versuchs, in Mm.	Nähere Beschreibung des gekrümmten Theils.
			beim Anfang.	am Ende.		
			A. Blattstiele.			
Petasites alba	12	10°	—	10	3.0	Ganz.
Cimicifuga racemosa	10	45°	—	5	5.0	Untere zwei Drittel.
Macleya cordata	5	90°	—	9	1.5	Ganz.
Spiraea sorbifolia	8.5	70°	—	4	3.5	Ganzer allg. Blattstiel.
Rubus Idaeus	5	80°	—	8	1.5	,, ,, ,,
Clematis recta	7	45°	—	7	1.5	,, ,, ,,
Cystopteris alpina	35	45°	—	5	2.0	4 Cm. des graden Th. der Spitze.
			B. Blattmittelrippen.			
Verbascum thapsiforme	20	20°	—	13	3.0	Ganz.
Corylus Avellana	6	90°	—	6		,, ohne die Spitze.
Ulmus campestris	5	90°	—	5		,, ,, ,, ,,
Scrophularia nodosa	9.0	90°	—	12	0.5	Untere Hälfte.
Inula Helenium	18	20°	—	4	3.0	Zweites Viertel von oben.
Inula bifrons	13.5	45°	—	16	2.5	Untere drei Viertel.

Noch auf eine andere Art kann man die geotropischen Krümmungen mit den durch die Epinastie entstehenden combiniren, und also einen neuen Beweis für die Richtigkeit der beiden Sätze, oder wenigstens für die des zweiten liefern. Stellt man die Blattstiele und Blattrippen nämlich vertikal in den Zinkkasten, so wird die Epinastie eine Krümmung in vertikaler Ebene bewirken, bei welcher die morphologische Oberseite an der convexen Seite liegt. Der Geotropismus wird dahin streben, diese Krümmung zu verhindern, und die bereits eingetretene wieder aufzuheben oder zu verringern. Die hierüber angestellten Versuche zeigten genau die erwarteten Krümmungen; ich führe sie nicht besonders auf, weil man in den Versuchen über den Heliotropismus Beispiele in Menge hierzu finden wird.

Meiner Ansicht nach können also die beiden anfangs gemachten Annahmen als empirisch bewiesene Regel angenommen werden. Sie gelten zunächst nur für die untersuchten Arten, doch hatte ich im Laufe meiner Untersuchungen vielfach Gelegenheit sie für andere Arten bestätigt zu sehen, und niemals fand ich eine wirkliche Ausnahme, wonach ihre Allgemeinheit sehr wahrscheinlich ist; wenigstens, was die zweite Regel betrifft für Blattstiele und für diejenigen Blattrippen, welche bei dem Isoliren aus dem Mesophyll ihre Unterseite concav krümmen. Auf das Verhältniss der Blätter, bei denen dieses nicht der Fall ist, komme ich noch weiter unten zurück.

Es ist vielleicht nicht ohne Interesse darauf hinzuweisen, dass diese beiden Eigenschaften von der normalen Richtung der Organe an der Pflanze unabhängig sind; in der Seite 250 mitgetheilten Tabelle sind sowohl solche Organe enthalten, welche senkrecht, als andere welche schief oder sogar

wagerecht gewachsen waren. Zumal die geotropische Aufwärtskrümmung der letzteren, in dem Falle wo die Oberseite oben liegt (z. B. Ulmus) verdient besondere Beachtung; bei der Besprechung des Einflusses der Belastung werde ich noch mehrere Beispiele hiervon zu verzeichnen haben.

Alle diese Versuche und Folgerungen beziehen sich, wie gleich anfangs hervorgehoben wurde, auf ein bestimmtes Alter, nämlich auf das letzte Wachsthumsstadium. Es erübrigt also zu untersuchen, welchen Einfluss das Alter auf diese Erscheinungen hat.

Um diese Frage zu beantworten kann man sowohl die in der ersten als die in der zweiten Tabelle befolgte Methode benutzen. Ich habe mit einigen Arten nach beiden Methoden Versuchsreihen angestellt, und theile die Resultate in der folgenden Tabelle mit. Die Einrichtung der ersten Hälfte der Tabelle ist derjenigen der Seite 250 mitgetheilten gleich, die der zweiten stimmt mit der Seite 254 mitgetheilten überein. In der ersten Hälfte enthalten danach die Specialspalten A die Zahlen, welche die Krümmungsradien und das Wachsthum der normalen Exemplare angeben, die Spalten B die gleichen Zahlen für die inversen Exemplare. Die Zahlen der ersten Spalte enthalten in beiden Hälften die Längen der ganzen Organe vor Anfang der Vorbereitung für den Versuch; sie erlauben ein Urtheil über das relative Alter der verschiedenen Versuchsobjecte. In der zweiten Hälfte der Tabelle sind die untersuchten Blattrippen und Blattstiele für jede Art einem (vertikalen) Aste entnommen; in der ersten Hälfte wurden für die Versuche mit Rumex und Inula zwei gleiche vertikale Aeste ausgewählt, deren einzelne Blätter zu je zwei so genau als möglich mit einander übereinstimmten. Aus den ganzen Versuchsreihen werden, wie immer, nur diejenigen Paare aufgeführt, in denen das Wachsthum, während des Versuchs eine genügende Uebereinstimmung zeigte.

Wo in der zweiten Hälfte der Tabelle die Unterseite die convexe war, ist diess dadurch angegeben, dass der Winkel der Krümmungsebene mit der Vertikale als negativ verzeichnet wurde.

Arten.	Totallänge d. Organs, in Cm.	Krümmungsradien in Cm.					Wachsthum während des Versuchs, in Cm.			Nähere Beschreibung des gekrümmten Theils
		beim Anfang.		am Ende.						
		A	B	A	B	Diff.	A	B	Diff.	
Rumex Patientia	28	—	—	24	12	12	2.5	2.5	0	Untere Hälfte der Blattrippe.
	20	—	—	17	7	10	3.0	2.5	—0.5	Untere Hälfte der Blattrippe.
	16	—	—	7	5	2	2.5	2.0	—0.5	Unteres Drittel der Blattrippe.
	12	—	—	7	7	0	3.0	2.0	—1.0	Unteres Drittel der Blattrippe.
Inula bifrons	20	—	—	20	10	10	2.0	1.0	—0.0	Untere Hälfte der Blattrippe
	12	—	—	13	8	5	1.0	1.5	0.5	Untere Hälfte der Blattrippe.

Arten.	Totallänge d. Organs, in Cm.	Krümmungsradien in Cm. beim Anfang. A	B	am Ende. A	B	Diff.	Wachsthum während des Versuchs, in Cm. A	B	Diff.	Nähere Beschreibung des gekrümmten Theils.
Inula bifrons	5	—	—	6	—		1.0	1.5	0.5	Untere Hälfte der Blattrippe.
"	3,5	—	—	10	—		0.5	0.5	0	Untere Hälfte der Blattrippe.
Menyanthes trifoliata	12	—	—	5	5		2.0	2.5	0.5	Obere Hälfte des Blattstiels.
	9	—	—	4	4		2.0	2.5	0.5	5 Cm. der Mitte.
	7	—	—	5	5		2.5	2.5	0	3.5 ,, ,, ,,
	5	—	—	5	5		2.0	2.0	0	3 ,, ,, ,,
	2.5	—	—	12	12		1.0	0.5	—0.5	Ganz.

Arten.	Totallänge.	Winkel der Krümmungsebene mit der Vertikale.	Krümmungsradien in Cm. beim Anfang.	am Ende.	Wachsthum während des Versuchs, in Mm.	Gekrümmter Theil
Rumex Patientia	34	35⁰	—	20	1.5	Untere Hälfte der Blattrippe.
	26	30⁰	—	11	2.5	Untere Hälfte der Blattrippe.
	18	30⁰	—	5	2.5	Untere Hälfte der Blattrippe.
	14	40⁰	—	5	3.0	Untere Hälfte der Blattrippe.
	12	20⁰	—	2.5	2.0	Untere Hälfte der Blattrippe.
	9	—10⁰	—	2.5	2.5	Untere Hälfte der Blattrippe.
	6	—60⁰	—	1.5	2.0	Untere Hälfte der Blattrippe.
Inula bifrons	20	0⁰	—20	24	3.5	Untere drei Viertel der Blattrippe.
	12	10⁰	—	16	1.0	Untere drei Viertel der Blattrippe.
	5	40⁰	—	10	0.5	Untere drei Viertel der Blattrippe.
	3	—	—	—	0.5	Untere drei Viertel der Blattrippe.
Delphinium elatum	5	10⁰	—	4	3.0	Untere Hälfte des Blattstiels.
	4	0⁰	—	5	2.0	Ganzer Blattstiel.
	3	—10⁰	—	6	2.0	,, ,,

Diese Tabelle zeigt, dass bei den untersuchten Arten (ausser Menyanthes) zuerst die Wachsthumsfähigkeit der Unterseite grösser als jene der Oberseite ist, dass dann diese Differenz verschwindet, und später die Wachsthumsfähigkeit der Oberseite diejenige der Unterseite überwiegt.

In Uebereinstimmung mit dem Gebrauche des Wortes Epinastie für letzteren Fall, kann man für ersteren das Wort Hyponastie benutzen, das von Schimper ebenso wie „Epinastie" zur Bezeichnung des analogen Unterschiedes in dem Dickenwachsthume eingeführt wurde.

In wie weit dieses Verhältniss allgemein ist, kann ich bei der geringen Anzahl der untersuchten Arten nicht angeben. Bei Physalis Alkekengi und Helianthus tuberosus fand ich die Mittelrippe auch in der Jugend hyponastisch, und im letzten Wachsthumsstadium epinastisch; bei mehreren anderen Arten beobachtete ich, dass in dem Anfang jenes letzten Stadiums die epinastische Differenz mit dem Alter zunimmt. Für die Wahrscheinlichkeit der Allgemeinheit dieser Verhältnisse sprechen auch die Nutationen der Blätter, denn es muss die Knospenlage durch ein stärkeres Wachsthum der Unterseite und das spätere Auseinanderschlagen durch stärkeres Wachsthum der Oberseite verursacht werden, wie bereits von Sachs[1] angegeben wurde.

Mit dem Aufhören des Wachsthums, nach einigen Untersuchungen vielleicht schon etwas früher, hört die Epinastie auf zu bestehen.

Bei den Blattstielen von Menyanthes ist, der Tabelle zufolge, die Wachsthumsfähigkeit der beiden einander gegenüberliegenden Seiten gleich gross, unabhängig von dem Alter des Organs.

Während es bei den Blattstielen Regel ist, dass die am raschesten wachsende Stelle zugleich diejenige ist, welche sich unter dem Einfluss der Schwere am stärksten krümmt, und in welcher die epinastische Differenz am grössten ist, fallen bei den Blattrippen diese beiden letzten Stellen nicht immer zusammen. Bei Versuchen, wo die Spitze der isolirten Rippe nicht entfernt worden war, hatte ich nämlich mehrfach die Gelegenheit, zu beobachten, dass während der untere Theil, bei einer normalen horizontalen Lage, sich aufwärts krümmte, die Spitze ihre beim Isoliren erhaltene rückwärts concave Krümmung noch verstärkte. Dieses deutet darauf hin, dass in der Spitze die epinastische Differenz grösser war als der Einfluss des Geotropismus, während sie im untern Theile kleiner war als dieser. So z. B. bei allgemeinen Blattstielen von Spiraea sorbifolia, und Blattmittelrippen von Scrophularia nodosa. Auch in einigen Versuchen, in denen die Medianebene des Organs horizontal lag, fand ich dieses Verhältniss bestätigt.

Bei denjenigen Blättern, deren Rippe sich beim Isoliren von der Spreite mit der Oberseite concav krümmt, ist, nach einigen Versuchen, welche ich mit Vitis vinifera und Lonicera pyrenaica sowohl bei horizontaler als bei vertikaler Anfangsstellung machte, die Unterseite wachsthumsfähiger als die Oberseite; sie sind also hyponastisch. Bei denjenigen Blättern von Vitis,

---

1) Sachs, Lehrbuch der Botanik 2. Aufl. S. 565.

in denen die Spitze der Rippe sich bei dem Isoliren concav krümmt, ist diese in Uebereinstimmung damit, epinastisch.

Bis jetzt habe ich unter den Blattstielen nur diejenigen betrachtet, in denen die krümmungsfähige Stelle nicht morphologisch von dem Uebrigen differenzirt ist. Bei vielen Blättern ist dieses aber bekanntermaassen mehr oder weniger der Fall. Es ist nicht schwer sich eine ganze Reihe von allmäligen Uebergängen auszusuchen, von denjenigen Blättern, bei denen der Blattstiel allmälig in die Spreite übergeht, durch diejenige wo die Spreite an ihrer Einfügungsstelle einen geringeren oder grösseren Winkel mit dem Blattstiel macht, (wo also jene Stelle viel stärkere Krümmungen macht als der übrige Theil des Blattstiels) bis zu den gelenkartigen Verbindungen von Spreite und Blattstiel, oder von Einzelblättchen mit dem allgemeinen Blattstiel welche die Krümmungen entweder hauptsächlich, oder sogar, wie bei vielen Papilionaceen ausschliesslich vermitteln. Da Nichts der Annahme widerspricht, dass auch hier[1]) die Ursachen der Krümmungen die nämlichen sind, wie bei den gewöhnlichen Blattstielen, will ich hier nicht näher auf die Erörterung aller der einzelnen Grade der Differenzirung eingehen, sondern mich auf die Mittheilung einiger Versuche über die durch Polster bewirkte Krümmungen beschränken.

Die Krümmungen welche die Blattstiele von Phaseolus machen, werden lediglich von dem grossen Stielpolster ausgeführt. Im Dunklen ist der Achsenwinkel dieser Blattstiele mit dem sie tragenden Stengel stets kleiner als am Lichte. Für die Untersuchung, ob diese Polster epinastisch sind, schnitt ich Stengelstücke an denen sich je ein Blatt befand aus dem Stengel heraus, entfernte die Blättchen, umwickelte das Stengelstück mittelst Eisendraht so, dass es sich nicht krümmen konnte, und stellte die so vorbereiteten Objecte in den mehrfach erwähnten dunklen Zinkkasten. Einige stellte ich so, dass der Blattstiel beim Anfang des Versuchs senkrecht stand, andere so, dass er horizontal lag, und zwar mit horizontaler Medianebene. Die vertikal gestellten bogen sich nach hinten zurück, so dass sie nach 24 Stunden einen Winkel von 20—30° mit der Vertikale bildeten, es war also die Oberseite des Polsters stärker in die Länge gewachsen als die Unterseite. Die Medianebene der horizontal gestellten stand am Ende des Versuchs schief, im Winkel von 45—70° mit der Vertikale, während der Axenwinkel dieser Blattstiele sich von 60—80°, wie er Anfangs war, auf 90—140° erhöht hatte. Im Polster hatte also sowohl eine geotropische Aufwärtskrümmung, als eine epinastische Krümmung stattgefunden. Die zu diesen Versuchen benutzte Art war Phaseolus multiflorus.

---

1) Selbstverständlich habe ich hier zunächst nur diejenigen Fälle im Auge, in denen ich diese Krümmungen in dem nämlichen Apparat und nach der nämlichen Methode entstehen sah, mit denen ich die früher erwähnten Versuche anstellte.

Heliotropismus.

Um die Frage zu beantworten, ob eine einseitig stärkere Beleuchtung Krümmungen in den Blattstielen und Rippen hervorrufen, oder doch wenigstens die aus anderen Ursachen entstehenden Krümmungen wesentlich abändern kann, benutzte ich einen Apparat und eine Methode, die nur in den nothwendigen Punkten von den bei den Untersuchungen über den Einfluss des Geotropismus gebrauchten abwichen.

Der Apparat war ein Zinkkasten, dessen eine aufstehende Seite von einer Glasscheibe gebildet wurde. Die gegenüberliegende Seite enthielt eine Thüre zum Einführen der Objecte und war, wie die übrigen Wände, auf der Innenseite schwarz gemacht. Die Höhe des Kastens war 35 Ctm., die Breite 30 Ctm., die Tiefe 15 Ctm. Den Boden bedeckte feuchter Sand, wodurch der ganze Raum immer sehr feucht war. Die Versuchsobjecte wurden in vertikaler Stellung in den Sand hinein gesteckt; in jedem Versuch schaute das eine der beiden zu vergleichenden Exemplare mit seiner morphologischen Oberseite nach dem Licht, während das andere Exemplar dem Licht die Unterseite zuwandte. Ersteres will ich auch hier das normale, letzteres das inverse nennen. Die Methode der Messung des Wachsthums, der Messung der Krümmung, die Wahl der Objecte u. s. w. waren dieselben wie sie in der Abtheilung über die „Methode der Untersuchungen" im Allgemeinen beschrieben sind. Der Apparat stand vor einem Nordfenster, in einer Entfernung von etwa drei Meter von diesem; es trat also keine Sonne hinzu, und die Exemplare etiolirten während des Versuchs einigermaassen.

Die Ursachen, welche unter diesen Umständen auf die entstehenden Krümmungen einen Einfluss ausüben, sind die Epinastie, der Geotropismus und der Heliotropismus. Da, wie ich im Vorhergehenden auseinander gesetzt habe, diejenigen Blätter, deren Rippe sich bei dem Isoliren mit der Unterseite concav krümmt, — und von Versuchen mit Blättern in denen das Umgekehrte der Fall war, wird hier keine Rede sein — epinastisch sind, so streben die Versuchsobjecte sich so zu krümmen, dass ihre Oberseite convex wird. Der Geotropismus, der nachgewiesenermaassen immer ein negativer ist, strebt die Exemplare in senkrechter Stellung verharren zu machen, oder, wenn sie diese schon nicht mehr besitzen, strebt er sie in diese zurückzuführen. Sein Einfluss ist aber, bei der vertikalen oder nahezu vertikalen Richtung, welche durch den Versuch bedingt ist, eine sehr geringe, und wird er also fast immer von der epinastischen Differenz überwogen. Nach dieser Auseinandersetzung ist die wirklich entstehende Krümmung also die, welche die Epinastie allein herbeiführen würde, um ein Geringes durch den Einfluss der Schwere verringert. Bisher galt das nämliche für alle Versuchsgegenstände. Der Einfluss des Heliotropismus wird aber Unterschiede hervorrufen, je nachdem diese erläuterten Krüm-

mungen gegen das Licht convex oder concav sind, was nach dem Vorhergehenden einfach davon abhängt, ob die morphologische Oberseite dem Lichte zugewendet, oder von diesem abgewendet ist. Ist der Heliotropismus ein positiver, so wird er die gegen das Licht schon concave Krümmungen verstärken, die gegen das Licht convexe aber schwächen; umgekehrt wird man auf positiven Heliotropismus schliessen dürfen, wenn die gegen das Licht concaven Krümmungen am Ende des Versuchs grösser gefunden werden als die gegen das Licht convexe. Beobachtet man keine Unterschiede, so war kein Einfluss des Heliotropismus bemerklich, beobachtet man Unterschiede im entgegengestellten Sinne, so war negativer Heliotropismus da.

Die einschlägigen Versuche enthält die folgende Tabelle, welche ganz nach dem Schema der auf Seite 250 mitgetheilten eingerichtet ist. Die Spalten A enthalten die denjenigen Exemplaren entsprechenden Angaben, deren morphologische Oberseite dem Lichte zugekehrt war (also die normalen Exemplare); die Spalten B die Angaben der Exemplare, deren Unterseite dem Licht zugekehrt war (die inversen). Gegen das Licht convexe Krümmungen sind als negativ; gegen das Licht concave als positiv bezeichnet worden.

Wie immer führe ich auch hier von den zwei bis drei Versuchen, welche ich mit jeder Art gemacht habe, in der Tabelle nur einen an.

Arten.	Totallänge d. Organs, in Cm.	Krümmungsradien in Cm. beim Anfang. A	B	am Ende. A	B	Diff.	Wachsthum während des Versuchs, in Mm. A	B	Diff.	Nähere Beschreibung des gekrümmten Theils.
A. Blattstiele.										
Delphinium elatum	5	—	—	—	14		1.5	2.0	0.5	Ganz.
Petasites alba	15	—	—	—	16		4.0	4.0	0	,,
B. Allgemeine Blattstiele gefiederter Blätter.										
Clematis recta	6.5	—	—	—5	5	0	2.0	2.0	0	Ganz.
Agrimonia procera	6	—	—	—12	10	—2	1.0	0.5	—0.5	,,
Spiraea sorbifolia	5.5	—	—	—8	6	—2	3.0	2.0	—1.0	Untere Hälfte.
C. Seitenblattstiele doppelt gefiederter Blätter.										
Cimicifuga racemosa	16	—	24	—12	6	—6	4.5	4.5	0	Obere Hälfte.
Aralia spinosa	7	—	—	—6	5	—1	2.0	2.0	0	Ganz.
D. Blattrippen, welche durch die Spreite gespannt waren.										
Atropa Belladonna	12	—	—	—	13		4.0	4.0	0	Untere Hälfte.
Rumex domesticus	13	—	—	—16	5	—11	3.0	3.0	0	,, ,,
Digitalis purpurea	15.5	—	—	—10	7	—3	1.5	2.0	0.5	,, ,,
Corylus Avellana	6	—	—	—6	6	0	0.5	0.5	0	,, ,,
Verbascum thapsiforme	14	—	—	—17	9	—8	2.0	1.5	—0.5	Obere Hälfte.
Inula bifrons	16.5	—24	24	—18	18	0	2.5	3.0	0.5	Untere zwei Drittel.

Arten.	Totallänge d. Organs, in Cm.	Krümmungsradien in Cm.					Wachsthum während des Versuchs, in Mm.			Nähere Beschreibung des gekrümmten Theils.
		beim Anfang.		am Ende.						
		A	B	A	B	Diff.	A	B	Diff.	
Physalis Alkekengi	7	—	—	—11	4	—7	1.5	1.0	—0.5	Untere zwei Drittel.
Helianthus tuberosus	13	—	24	—5	2	—3	0.5	0.5	0	,, ,, ,,
Althaea officinalis	8	—	—	—	7		2.5	2.5	0	,, ,, ,,
Bryonia alba	4.5	—	—	-1.5	1	—0.5	2.0	2.5	0.5	,, ,, ,,
Macleya cordata	10	—	—	—8	4.5	—3.5	3.5	3.0	—0.5	,, ,, ,,
Sonchus palustris	20	—	—	—	8		3.0	3.5	0.5	Mittleres Drittel.
Dipsacus fullonum	17	—	—	—10	8	—2	2.5	2.5	0	,, ,,
Polygonum cuspidatum	6	—	—	—2	2	0	3.5	4.0	0.5	Unteres Drittel.
Scolopendrium officinarum	12	—	—	—6	3.5	—2.5	4.0	4.0	0	5 Ctm. lange Strecke des oberen Theils.
E. Blattrippen ohne Spannung durch die Spreite.										
Sedum purpurascens	4	—	—	—3	3	0	1.5	1.5	0	Untere Hälfte.

Aus diesen Versuchen geht hervor, 1) dass in vielen Fällen kein Einfluss des Heliotropismus zu bemerken war, 2) dass in den übrigen Fällen der Heliotropismus immer ein positiver war, und 3) dass er in keinem Falle die Epinastie überwand. Das letztere ersieht man daraus, dass die Exemplare deren Oberseite dem Lichte zugekehrt war, niemals am Ende des Versuchs mit positiver Krümmung verzeichnet worden sind, nur waren in einigen Fällen beide Kräfte mit einander im Gleichgewicht, und blieb der Blattstiel oder die Rippe grade.

Um auch in diesem Falle den direkten Beweis für die Richtigkeit meiner Deutung der beobachteten Krümmungen zu liefern, habe ich eine Reihe von Versuchen angestellt, in denen eine Seitenkante das stärkste Licht empfing, deren Einrichtung aber sonst genau die der vorigen Versuchsreihe war. Es krümmten sich in diesen Versuchen die Blattstiele und Blattrippen mit der Hinterseite concav, bogen sich dabei aber dem Lichte zu. Auch hier war die epinastische Krümmung stärker, meist sogar beträchtlich stärker als die positiv heliotropische (z. B. Allgemeine Blattstiele von Rhus typhina, Aelanthus glandulosa, Spiraea sorbifolia; Mittelrippen von Physalis Alkekengi, Rubus odoratus).

Ueber den Einfluss des direkten Sonnenlichtes auf diese Erscheinungen habe ich nur wenige Untersuchungen gemacht, in denen das Sonnenlicht mittelst eines Spiegels in horizontaler Richtung auf die Pflanzen fiel. Einige Versuche wurden mit dem nämlichen Apparate ausgeführt, mit dem die im Vorhergehenden beschriebenen gemacht waren, andere mit Organen, welche, ohne von der Pflanze getrennt zu werden, in vertikaler Stellung aufgestellt wurden. Es ergab sich, dass auch hier der Heliotropismus nicht im Stande war die Epinastie zu überwinden. So z. B. mit allgemeinen Blattstielen von Phaca alpina, und Rubus Idaeus (im Apparate);

mit Blattstielen von Cucurbita Pepo und Mittelrippen von Helianthus annuus ohne Trennung von der Pflanze).

Die nämliche Differenzirung der krümmungsfähigen Stelle wie bei dem Geotropismus, findet selbstverständlich auch für den Heliotropismus statt. Auch hier scheint der positive Heliotropismus weit verbreitet zu sein (so z. B. bei den Polstern von Phaseolus multiflorus).

Belastung.

In allen meinen in den beiden vorhergehenden Abtheilungen angeführten Versuchen, wurde die Spreite entfernt. Ich will also jetzt versuchen die Frage zu beantworten, wie die dort behandelten Krümmungen sich gestalten, wenn die Spreite nicht entfernt wird, und so den Einfluss bestimmen, den die Anwesenheit der Spreite auf die in der freien Natur beobachteten Erscheinungen besitzt.

Während bei den Rippen die Bewegungen nicht nur durch das Gewicht der Spreite beeinflusst werden, sondern auch dadurch, dass die Rippen durch das Mesophyll gespannt sind, ist bei den Blattstielen dieses letztere Moment ausgeschlossen, und man hat hier also die Gelegenheit nachzuforschen, welchen Einfluss die zu hebende Last der Spreite auf die Aufwärtskrümmung hat. Einige Versuche hierüber enthält die folgende Tabelle deren Einrichtung genau die Seite 249 beschriebene ist. Die Specialspalten A enthalten die Angaben über die belasteten Blattstiele, die Spalten B jene über die unbelasteten; die morphologische Oberseite war immer oben. Im Uebrigen ist die Versuchsmethode die in der Abtheilung über die Methode im Allgemeinen beschriebene.

Arten.	Totallänge d. Organs. in Cm.	Krümmungsradien in Cm. beim Anfang.		Krümmungsradien in Cm. am Ende.			Wachsthum während des Versuchs, in Mm.			Nähere Beschreibung des gekrümmten Theils.
		A	B	A	B	Diff.	A	B	Diff.	
Aconitum Napellus	3.0	—	—	6	5	—1	1.5	2.0	0.5	Ganz.
Agrimonia procera	8	—	—	12	7	—5	4.0	2.0	—2.0	,,
,, ,,	8	—	—	13	6	—7	7.0	1.5	—5.5	,,
Pavia macrostachya	10	14	—	10	8	—2	5.0	3.0	—2.0	Obere Hälfte.
Rhus typhina	11	—	—	—	3		5.0	5.0	0	,, ,,
Sanguisorba officinalis	22	—	—	3.5	3	—0.5	13.5	8.0	—5.5	3 Ctm. lange Strecke der Mitte des beblätterten Theils.

Wie zu erwarten war, ergeben diese Versuche, dass die Aufwärtskrümmung durch die Last eine schwächere wird. In diesen Versuchen hat der Geotropismus die epinastische Differenz zu überwinden, und werden die Blätter also nur mit einer relativ geringen resultirenden Kraft aufwärts gehoben, was der Sichtbarkeit des Einflusses der Belastung vortheilhaft ist.

Legt man aber die Blätter umgekehrt, so dass der Geotropismus und die Epinastie zusammenwirken, um das Blatt aufwärts zu krümmen, so ist in den meisten Fällen die resultirende Kraft schon so gross, dass die Anwesenheit der Blättchen oder ihre Abwesenheit keinen merklichen Einfluss mehr hat. So z. B. bei Spiraea sorbifolia, Tanacetum roseum.

An die Betrachtung dieser Tabelle lässt sich noch eine Bemerkung knüpfen über den Einfluss, welchen die Entfernung der Spreite auf die Ernährung der Blattstiele hat. Das Wachsthum war nämlich in den beblätterten Blattstielen von Pavia, Agrimonia und Sanguisorba ein beträchtlich viel stärkeres als in den unbelasteten. Da aber zu den Versuchen sehr gleiche Blätter ausgesucht waren, so muss man annehmen, dass das stärkere Wachsthum der ersteren durch eine bessere Ernährung während des Versuchs verursacht wurde. Bei den beiden anderen Arten fand kein solcher auffallender Unterschied statt. Direkte Untersuchungen über den Einfluss der Spreite auf die Ernährung habe ich nicht gemacht; eine grosse Schwierigkeit bei der Lösung dieser Frage ist nämlich die, dass während bei den sonstigen Versuchen das gleiche Wachsthum die Vergleichbarkeit sonst einander sehr ähnlicher Objecte vollständig macht, hier dieses Merkmal der Vergleichbarkeit fehlt. Es bedarf also dieser Punkt noch einer weiteren Prüfung nach einer Methode welche vor Anfang des Versuches die Gleichheit des Wachsthums der zu untersuchenden Exemplare feststellt; auch wäre vielleicht eine mikroskopische Prüfung der benutzten Blattstiele auf ihren Gehalt an Nährstoffen von Interesse.

Schon anfangs (Seite 241) wurde die Thatsache behandelt, dass die Blattrippen gewöhnlich durch das Mesophyll gespannt sind. Es lässt sich daher vermuthen, dass, wie in dem normalen Blatte die Rippe die Form und Lage, welche ihr vermöge ihrer eigenen Gewebespannungen zukommen, nicht annehmen kann, so auch die durch die Wachsthumsverhältnisse der Versuche bedingten neuen Lagen nicht angenommen werden können. Mit anderen Worten, es ist wahrscheinlich, dass die Spreite die Krümmungen der Rippe in jeder Richtung und in jeder Beziehung vermindern oder sogar ganz verhindern wird. Die Versuche, die ich hierüber gemacht habe, bestätigen diese Vermuthung vollkommen. Die Methode und die Einrichtung der Tabelle sind genau die früher beschriebenen. Von den zwei zu vergleichenden Exemplaren, welche entweder beide normal, oder beide invers lagen, war das eine das ganze Blatt (Spalten A), das andere die aus der Spreite isolirte Mittelrippe (Spalten B).

Arten.	Totallänge d. Organs, in Cm	Krümmungsradien in Cm. beim Anfang.		Krümmungsradien in Cm. am Ende.			Wachsthum während des Versuchs, in Mm.			Nähere Beschreibung des gekrümmten Theils.
		A	B	A	B	Diff.	A	B	Diff.	
I. Reihe. Morphologische Oberseite oben.										
A. Fast vertikale Blätter.										
Inula Helenium	15	—	—24	7	6	—1	6.0	6.0	0	Unteres Drittel.
Dipsacus fullonum	15	—	—	12	5	—7	3.5	3.0	—0.5	,, ,,
Rumex Patientia	16	—	—	—	10		3.0	3.5	0.5	Untere Hälfte.
B. Fast horizontale Blätter.										
Lonicera pyrenaica	5.6	—	8	—	5		0.5	0.5	0	Ganz.
Coryllus Avellana	7	—	—	—	—14		2.0	2.0	0	,,
Ulmus campestris	8	—	—	—	8		2.0	1.0	—1.0	Untere Hälfte.
Lonicera Ledebouri	8.5	—	—	—	—2		2.0	1.5	—0.5	,, ,,
Philadelphus Gordonianus	7	—	—	—8	—6		2.0	2.5	0.5	Untere zwei Drittel.
Rubus odoratus	10	—	—8	—	—3		2.0	2.0	0	Mittleres Drittel.
C. Fast vertikal abwärts wachsende Blätter.										
Vitis vinifera	5.5	—	—	—	1.5		2.0	3.0	1.0	Untere Hälfte.
II. Reihe. Morphologische Oberseite unten.										
A. Fast horizontale Blätter.										
Lonicera pyrenaica	5	—	3	—	—2		1.0	1.0	0	Untere Hälfte.
Lonicera Ledebouri	7.5	—14	—9	—14	+8		1.5	1.0	—0.5	Ganz.
Corylus Avellana	5.5	—	5	—	2		0.5	0.5	0	,,
Philadelphus Gordonianus	6.5	—	—	6	3	—3	2.0	2.5	0.5	Untere Hälfte.
B. Fast vertikal abwärts wachsende Blätter.										
Vitis vinifera	6.5	—	—	—	2		2.0	2.0	0	Obere Hälfte.

Man sieht aus der Tabelle, dass sich bei einigen Arten die ganzen Blätter sowohl in normaler als in inverser Lage gar nicht krümmten, während die Rippen sich unter dem combinirten Einflusse der Schwerkraft und der Epinastie (resp. Hyponastie) krümmten. Die Krümmungen der normalen Rippen waren entweder aufwärts oder abwärts concav, je nachdem der Einfluss der Schwere grösser oder kleiner war als die epinastische Differenz. Die Abwärtskrümmung der inversen Rippe von Lonicera pyrenaica bestätigt die früher angegebene Thatsache, dass diese Rippen hyponastisch sind. Die Versuche, in denen eine Abwärtskrümmung der Rippen stattfand, sind zumal dazu geeignet, darzuthun, dass es nicht die Last der zu hebenden Spreite ist, welche die Krümmung des Blattes geringer macht als die der freien Rippe, sondern dass es nur die hemmende Wirkung der Spannung zwischen Rippe und Spreite sein kann. Inwieweit bei den übrigen Versuchen die Last der Spreite mitwirkt um die Krümmung zu

verringern, kann hier vorläufig nicht entschieden werden. Dass sie mitwirkt ist wahrscheinlich, und wird dieses noch mehr durch einige Versuche, die ich mit Blättern machte, welche keine oder nur geringe Spannung ihrer Rippen zeigen, und deren Rippen sich dennoch stark aufwärts krümmten während die ganzen Blätter keine Krümmungen zeigten. (So bei Arten von Sedum und Saxifraga u. m. A.) Neben der Last ist hier vielleicht auch ein Widerstand des weniger krümmungsfähigen Gewebes der Spreite gegen die Krümmung zu überwinden.

Dass die nachtheilige Wirkung der Spreite aber nicht immer so weit geht, die Krümmungen ganz zu verhindern, beweisen die Versuche mit Dipsacus fullonum und Inula Helenium zur Genüge.

Torsionen.

Bei meinen im Vorhergehenden mitgetheilten Untersuchungen mit abgeschnittenen, unbelasteten Blattstielen und Mittelrippen beobachtete ich niemals, dass irgend ein Organ sich tordirte, auch dann nicht wenn bei horizontaler Lage im Anfang des Versuchs seine morphologische Oberseite unten lag. Es lag daher nahe zu vermuthen, dass irgend eine äussere Ursache die bei den im Freien angestellten Versuchen vielfach beobachteten Torsionen herbeiführte und zwar eine in den bisher mitgetheilten Versuchen ausgeschlossene Ursache.

Ich steckte in der gewöhnten Weise ganze bandförmige oder fast bandförmige Blätter mehrerer Arten in inverser horizontaler Lage in den Sand des dunklen feuchten Raumes (Digitalis ferruginea, Stellaria Holosteum, Hypericum calycinum. Arnica Chamissonis); nach 24 Stunden war bei vielen Blättern dieser Arten eine Torsion der Spreite eingetreten, durch welche die Spitze ganz oder nahezu horizontal mit der Oberseite nach oben lag; hierbei war sie aber bedeutend seitwärts übergebogen. Isolirte Mittelrippen dieser Arten, ebenso untersucht, krümmten sich immer ohne jede Torsion aufwärts. Augenscheinlich war es also die Last der Spreite, welche die Torsion verursacht, und zwar dadurch, dass beim Anfange des Versuchs die sich aufwärts krümmende Mittelrippe nicht genau in einer vertikalen Ebene blieb, sondern sich etwas seitwärts bog, wodurch für den unteren Theil der Rippe eine auf beiden Seiten ungleiche Belastung entstand. Die hierdurch entstandene mechanische Torsion wurde durch das von ihr beeinflusste Wachsthum bleibend und immer grösser, so lange die tordirende Ursache noch da war.

Einen zweiten Versuch stellte ich mit einer kräftigen, in einem Topfe erzogenen Kürbispflanze an. Nachdem der Stengel an einem Stab überall so angeheftet war, dass er keine Krümmungen machen konnte, wurde der Topf in einem finstern Zimmer umgekehrt aufgestellt. Nach einigen Stunden hatten die Blattstiele angefangen sich aufwärts zu krümmen, und sich dabei

so tordirt, dass die Mittelrippen ihrer Spreiten wagerecht standen (bei senkrechtem Stand der Spreite). Jetzt wurde an einem Blatte, wo die Torsion fast genau 90⁰ betrug, die Spreite entfernt; in demselben Augenblick hob sich der nicht mehr belastete Blattstiel ein wenig. Mehrere Stunden später hatte er sich sehr kräftig aufwärts gehoben, dabei aber jede Torsion ausgeglichen, während die übrigen Blattstiele, deren Spreite nicht entfernt worden war, ihre Torsion noch vergrössert hatten.

Eine grössere Versuchsreihe habe ich nach der folgenden Methode angestellt. Normal vertikal wachsende, beblätterte Sprosse von verschiedenen Arten wurden, ohne von der Pflanze getrennt zu werden, in horizontaler Lage so befestigt, dass die Medianebene einiger noch wachsender Blätter horizontal wurde. Bei meinen Versuchen war meistens nur der die Versuchsblätter tragende Theil genau horizontal, die oberen und unteren Theile des Sprosses abwärts gebogen, um eine bequeme Befestigung zu ermöglichen. Bei dieser Einrichtung hat die künstliche Unterseite des Sprosses, weil er durch den Geotropismus zu stärkerem Wachsthum als die Oberseite veranlasst wird, und die Befestigung das Entstehen von Krümmungen verhindert, das Streben den Spross so zu tordiren, dass sie zur Oberseite wird; indem die jedesmalige Unterseite dieses versucht, ist fortwährend eine Torsionsursache vorhanden; bei lockerer Befestigung des Sprossendes beobachtete ich diese Torsionen bei sehr vielen (nicht allen) untersuchten Arten; mehr als eine ganze Schraubenwindung sah ich z. B. bei Sida Napaea, Helianthus tuberosus, Sanguisorba officinalis (keine derartige Torsion zeigte mir Althaea officinalis). Selbstverständlich muss bei den Versuchen über die Ursache der Torsionen der Blätter die Befestigung eine solche sein, dass die hier angedeuteten Torsionen des Stengels nicht stattfinden können.

An einigen von den Blättern, deren Medianebene auf diese Weise horizontal gestellt war, wurde die Spreite entfernt, und zwar so, dass entweder nur der Blattstiel, oder bei ungestielten Blättern, zwei untere Drittel der Mittelrippe blieben; an anderen Blättern wurde Nichts entfernt. Die ihrer Last befreiten Blattstiele und Rippen krümmten sich in ein oder zwei Tagen in horizontaler oder ein wenig aufwärts geneigter Ebene mit der Hinterseite concav, ohne irgend welche Torsion zu zeigen; auch später trat bei diesen niemals eine Torsion ein. Auch die ganzen Blätter krümmten sich zuerst mit der Hinterseite concav, dann aber fing die Spitze an sich zu senken, bis sie genau oder fast genau nach unten gerichtet war, wobei der Blattstiel, resp. der untere Theil des sitzenden Blattes eine Torsion von 90⁰ erlitt. Die Arten an denen ich diese Resultate erhielt sind: A (Versuche mit ganzen Blättern und entlasteten Blattstielen) Staphylea pinnata, Rubus Idaeus, R. odoratus, Helianthus tuberosus. B (Versuche mit ganzen Blättern und entlasteten Blattrippen): Inula Helenium, I. bifrons, Salvia

officinalis, Polygonum tinctorium, Physalis Alkekengi. Diese Versuche zeigen, dass das Gewicht der Spreite die Ursache der Torsion war.

Um einen möglichen Einwand vorzubeugen, dass etwa die Entfernung der Spreite durch die Beeinträchtigung der Ernährung der Blattstiele die Torsionen unmöglich mache, habe ich an von der Spreite befreiten Blattstielen des Helianthus tuberosus durch künstliche einseitige Belastung Torsionen herbeizuführen gesucht. Eine 5 Cm. lange feine Stecknadel, deren Ende mittelst eines Tropfens Ziegellack beschwert war, wurde zu dem Ende in die Spitze des von der Spreite befreiten Blattstieles, senkrecht auf deren Achse und in der Medianebene, so tief hinein gesteckt, dass das einseitige Gewicht augenblicklich kaum eine merkliche Torsion verursachte. Wie im vorigen Versuche standen auch hier die Blattstiele an den horizontal gestellten Sprossen so, dass ihre Medianebene horizontal war. Bei einigen Blattstielen war die Vorderseite belastet, bei anderen die Hinterseite. Nach einigen Tagen zeigten die unbelasteten keine Torsionen, während alle belasteten eine deutliche Torsion ausgeführt hatten, wobei immer die belastete Seite nach unten gekehrt war. Auch bei Dahlia variabilis gelang es mir nach Entfernung der Blättchen an dem allgemeinen Blattstiel durch künstliche einseitige Belastung eine Torsion hervorzurufen.

Stellt man vertikale Aeste der Indigofera Dosua horizontal, so tordiren sich die Blätter, deren Medianebene horizontal liegt um fast 90°, aber nur dann wenn die Blättchen nicht entfernt worden sind; die Torsion findet fast ganz in und nahe an dem Polster statt.

Es zeigen alle diese Versuche übereinstimmend, dass die unter dem Einflusse der Schwere entstehenden Torsionen nur Folgen der auf beiden Seiten ungleichen Belastung des betreffenden Organes sind.

Ueber die Frage, ob die bei einseitiger Beleuchtung entstehenden Torsionen durch die nämliche Ursache hervorgebracht werden, habe ich keine direkten Versuche gemacht; doch spricht der Umstand, dass ich bei meinen früher mitgetheilten Untersuchungen über Heliotropismus niemals Torsionen beobachtete, sehr für die Wahrscheinlichkeit dieser Vermuthung.

III. Ursachen der Richtung nichtvertikaler Sprosse.

Geotropismus, Epinastie, Hyponastie.

In den folgenden Untersuchungen habe ich diejenigen Sprosse, welche nicht senkrecht aufwärts, oder bei einseitiger Beleuchtung in der Richtung gegen das einfallende Licht wachsen, welche also wie die Blattstiele eine Oberseite und eine Unterseite unterscheiden lassen, nach derselben Methode behandelt, wie die Blattstiele und Blattrippen in den vorhergehenden Abtheilungen. Wie man später sehen wird bestätigen die Resultate meine Vermuthung, dass sie sich ähnlich wie diese verhalten würden. Dieser Umstand verursacht zunächst, dass die Untersuchungsmethode, nicht allein

in ihren grösseren Zügen, sondern auch in den kleinsten Einzelheiten mit der für die Blattstiele befolgten übereinstimmt. Für die hier zu beschreibenden Versuche verweise ich daher gänzlich auf das in der Abtheilung über die Methode der Untersuchung, und über den Geotropismus der Blätter mitgetheilte, mit der Bemerkung, dass, wo dort von einer Spreite am Gipfel des Blattstiels die Rede ist, hier die Partial-Inflorescenz am Ende eines Seitenzweiges einer Inflorescenz zu verstehen ist; und dass, wo dort die Seitenblättchen eines allgemeinen Blattstiels eines gefiederten Blattes angeführt werden, man hier die einzelnen Blätter eines ganzen beblätterten Sprosses betrachten muss. Die Oberseite ist immer, wie dort, durch die morphologischen Verhältnisse bestimmt.

Die Resultate meiner Versuche über Geotropismus, Epinastie und Hyponastie von nichtvertikalen Sprossen sind in der beigefügten Tabelle verzeichnet, deren Einrichtung genau mit der Seite 250 mitgetheilten übereinstimmt.

Arten.	Totallänge d. Organs, in Cm.	Krümmungsradien in Cm. beim Anfang.		Krümmungsradien in Cm. am Ende.			Wachsthum während des Versuchs, in Mm.			Nähere Beschreibung des gekrümmten Theils.
		A	B	A	B	Diff.	A	B	Diff.	
I. Reihe. Epinastische Sprosse.										
A. Inflorescenz-Zweige.										
Isatis tinctoria	16	8	—8	7	2	—5	2.0	2.5	0.5	Obere Hälfte.
Levisticum officinale	11	—	—	16	10	—6	2.0	1.5	—0.5	Ganz.
Tanacetum Parthenium	11	—	—	13	7	—6	3.5	4.0	0.5	,,
Sinapis nigra	12	—	—	4.5	2.5	—2	4.0	4.0	0	Untere Hälfte.
Sinapis alba	11	—	—	4	3.5	—0.5	3.0	3 5	0.5	3 Cm. des unteren Theils.
Physiospermum aquilegifolium	12	—	—	5	4	—1	2.5	2.5	0	4 Cm. des unteren Theils.
Aquilegia spectabilis	10	—	—10	5	3	—2	2.0	2.5	0.5	3 Cm. des mittleren Theils.
Archangelica officinalis	35	—	—	15	9	—6	9.0	9.0	0	14 Cm. des mittleren Theils.
Tanacetum serotinum	11	16	—16	6	5	—1	12.5	11.0	—1.5	Ganz, ohne die Spitze.
Crambe cordifolia	17	18	—13	18	5		0.5	1.0	0.5	5 Cm. des oberen Theils.
B. Horizontale Aeste.										
Tilia parvifolia	9	—	—	—	2		2.0	2.5	0.5	Zwei jüngste Internodien.
Pyrus Malus	12	15	—15	15	8		2.0	2.5	0.5	Zwei jüngste Internodien.
Philadelphus Gordonianus	8	—	—	—	8		2.5	2.5	0	Jüngste Internodien.

Arten.	Totallänge d. Organs, in Cm.	Krümmungsradien in Cm. beim Anfang.		Krümmungsradien in Cm. am Ende.			Wachsthum während des Versuchs, in Mm.			Nähere Beschreibung des gekrümmten Theils.
		A	B	A	B	Diff.	A	B	Diff.	
					C. Aufsteigende Aeste.					
Asperugo procumbens	23	—	—21	3	2	—1	4.5	4.0	—0.5	4 Cm. des oberen Theils.
Lasiospermum radiatum	17	—	—14	8	.5	—3	7.0	6.5	—0.5	8 Cm. des oberen Theils.
Calendula arvensis	25	22	—	6	4	—2	4.0	4.0	0	8 Cm. des oberen Theils.
					D. Ausläufer und ausläuferartige Gebilde.					
Fragaria elatior	8	—	—	12	10	—2	3.5	3.5	0	Letztes Internodium.
Potentilla reptans	15	—	—	7.5	2	—5.5	3.0	2.0	- 1.0	2.5 Cm. der unteren Hälfte.
Ajuga reptans	18	14	—6	8	2.5	—5.5	1.5	2.0	0.5	4 Cm. des oberen Theils.
Convolvulus arvensis		—	—	8	6	· 2	2.0	2.0	0	6 Cm. der Spitze.
Lysimachia Nummularia		—	—	11	10	—1	2.0	2.0	0	6 ,, ,, ,,
Lithospermum purpureo-coerulum		—	—	—	4		2.0	1.5	—0.5	7 ,, ,, ,,
					II. Reihe. Hyponastische Sprosse.					
					Horizontale Aeste.					
Prunus avium	2.5	—	—	16	—		1.0	1.0	0	Drei jüngste Internodien.
Cotoneaster vulgaris	10	—	—	15	—		2.0	2.0	0	Drei jüngste Internodien.
Ulmus campestris	11	12	—12	3	—4	—1	2.0	2.0	0	Vier jüngste Internodien.
Corylus Avellana	9	—	—	4	—6	+2	1.5	1.5	0	Zweites und drittes Internodium.
Evonymus verrucosus	10	11	—11	2	—2	0	1.5	2.0	0.5	Drei Cm. des obersten Theils.
Picea nigra	5.5	—	—	2.5	—4	+1.5	3.5	3.0	—0.5	Untere Hälfte.

Aus dieser Tabelle geht hervor:

Bei den untersuchten Seitenzweigen von Infloresceuzen, bei den Ausläufern, und ausläuferartigen Gebilden, bei einigen horizontalen und aufsteigenden Aesten krümmen sich sowohl die normalen als die inversen Objecte aufwärts, und zwar die letzteren kräftiger als die ersteren.

Bei einigen (Tilia, Philadelphus) krümmt sich der entblätterte normal hingelegte Ast nicht aufwärts, der umgekehrte wohl.

Bei den Objecten der zweiten Reihe krümmten sich die normalen Exemplare aufwärts, die inversen abwärts.

Ebenso wie bei den Blättern kann man auch hier die entstandenen Krümmungen als das Resultat zweier zusammenwirkender Kräfte betrachten, indem man annimmt, dass: 1) die bilateralsymmetrischen Sprosse negativ geotropisch sind; 2) die Wachsthumsfähigkeit der Oberseite und die der

Unterseite verschieden sind, und zwar dass jene der Oberseite bei den in der ersten Reihe verzeichneten Arten grösser ist als jene der Unterseite, bei den in der zweiten Reihe zusammengestellten aber kleiner als diese. Nach der früher gewählten Bezeichnung kann man also die Objecte der ersten Reihe epinastisch, die der zweiten Reihe hyponastisch nennen.

Man kann sich leicht von der Wahrheit dieser beiden Sätze überzeugen, indem man die Versuchsgegenstände entweder in horizontaler Stellung mit horizontaler Medianebene, oder in vertikaler Stellung untersucht; die dann entstehenden Krümmungen entsprechen diesen Sätzen vollkommen. Ich halte es für überflüssig meine hierüber angestellten Versuche einzeln anzuführen, nur muss ich bemerken, dass bei den Ausläufern die vertikal gestellten Exemplare gerade blieben, oder wenn sie vorher gekrümmt waren, diese Krümmung ganz oder fast ganz ausglichen, woraus folgt, dass ihre Epinastie jedenfalls eine sehr geringe ist.

Wie aus dem jedesmaligen Verhältnisse dieser beiden Krümmungsursachen in jedem einzelnen Versuche die wirklich beobachteten Krümmungen erklärt werden, wird man sich, nach dem hierüber bei den Blättern Gesagten leicht klar machen können.

Auf Eins möchte ich noch hinweisen. Während ich bei den Blattstielen keine, und bei den Blattrippen im letzten Altersstadium nur einzelne Beispiele gefunden habe, wo die Oberseite eine geringere Wachsthumsfähigkeit zeigte als die Unterseite, tritt dieses Verhältniss unter denjenigen bilateralsymmetrischen Sprossen, welche schon in der Knospe in horizontaler Richtung angelegt werden, ziemlich häufig auf. Bei der Besprechung des Einflusses der Belastung komme ich noch auf diese Erscheinung zurück.

Heliotropismus.

Indem ich, wie im vorigen Abschnitt und aus denselben Gründen für die Beschreibung des benutzten Apparates, die Methode der Untersuchung, die Deutung der beobachteten Krümmungen und die Einrichtung der Tabelle auf die entsprechende Abtheilung über den Heliotropismus der Blätter verweise, schreite ich zugleich zu der Mittheilung der Versuche und zu der Betrachtung ihrer Resultate.

Arten.	Totallänge d. Organs, in Cm.	Krümmungsradien in Cm. beim Anfang.		Krümmungsradien in Cm. am Ende.			Wachsthum während des Versuchs, in Mm.			Nähere Beschreibung des gekrümmten Theils.
		A	B	A	B	Diff.	A	B	Diff.	
				A. Inflorescenz-Zweige.						
Physiospermum aquilegifolium	13	—	—	—16	9	—7	4.0	4.5	0.5	Ganz.
Levisticum officinale	13	15	—19	—22	22	0	2.0	3.0	1.0	,,
Crambe cordifolia	10	—	—	—11	11	0	3.0	3.0	0	Obere Hälfte.
Brassica nigra	15	—	—9	—11	8	—6	3.5	3.0	—0.5	Obere zwei Drittel.

Arten.	Totallänge d. Organs, in Cm.	Krümmungsradien in Cm. beim Anfang.		Krümmungsradien in Cm. am Ende.			Wachsthum während des Versuchs, in Mm.			Nähere Beschreibung des gekrümmten Theils.
		A	B	A	B	Diff.	A	B	Diff.	
				B. Aufsteigende Zweige.						
Calendula arvensis	16	—	—	—7	7	0	6.0	6.5	0.5	3 Cm. des mittleren Theils.
Asperugo procumbens		—	—	—4	3	—1	5.5	5.5	0	3 Cm. des mittleren Theils.
				C. Ausläufer und ausläuferartige Gebilde.						
Lithospermum purpureo-coeruleum		18	—12	—14	—14	0	3.0	2.0	1.0	10 Cm. lange Spitze.
Fragaria grandiflora	9	5	—11	—	24		7.0	7.0	0	Letztes Internodium.
Convolvulus arvensis		4	—6	—	—		2.5	2.5	0	10 Cm. lange Spitze.
Polygonum aviculare		10	—7	—	—		3.0	4.5	1.5	10 ,, ,, ,,
Lysimachia Nummularia		8	—7	—	—		0.5	1.0	0.5	10 ,, ,, ,,

Es ergiebt sich, dass in vielen Fällen kein Einfluss des Heliotropismus bemerklich war, dass dieser zumal bei den Ausläufern ganz fehlte, dass in den übrigen Fällen der Heliotropismus immer ein positiver war, und dass er in keinem Falle den Einfluss der Epinastie überwand. Hyponastische Sprosse sind nicht untersucht worden. Wie man sieht, stimmen diese Ergebnisse gänzlich mit den bei den Blättern gewonnenen überein.

Kein Einfluss des Heliotropismus zeigte sich bei den mit Ausläufern und ausläuferartigen Gebilden gemachten Versuchen. Vergleicht man aber was hierüber schon im historischen Theile mitgetheilt wurde, so ergiebt sich, dass für diese Gebilde bei direktem Sonnenlicht negativer Heliotropismus entweder nachgewiesen (Lysimachia, Fragaria) oder doch sehr wahrscheinlich ist (Polygonum).

Belastung.

Einige über den Einfluss der Entfernung der Blätter angestellten Experimente theile ich in der Tabelle mit, für deren Einrichtung ich, ebenso wie für die Methode der Untersuchung, auf den Abschnitt über die Belastung bei den Blättern (Seite 262) verweise. Ebenso wie dort wurden belastete (Spalte A) und unbelastete (Spalte B) Zweige verglichen, die Lage war in allen eine normale horizontale.

Arten.	Totallange d. Organs, in Cm.	Krummungsradien in Cm. beim Anfang.		Krummungsradien in Cm. am Ende.			Wachsthum wahrend des Versuchs, in Mm.			Nähere Beschreibung des gekrümmten Theils
		A	B	A	B	Diff.	A	B	Diff.	
Rubus fruticosus		—	—	24	23	—1	5.5	5.5	0	20 Cm. lange horiz. Spitze der Sprosse.
Celtis australis	14	—	—	—	7		1.0	1.0	0	4 Cm. der Spitze der horiz. Aeste.
Evonymus verrucosus		—	—	—	11		1.0	0.5	—0.5	Ganze horizontale Aeste.
Taxus baccata	6.5	—	—	—	7		2.0	1.5	—0.5	Untere Halfte horizontaler Aeste.
Abies Pichta	10	—	—	—	10		0.5	1.5	1.0	Ganze horizontale Aeste.

Der Versuch mit Rubus zeigt nur einen geringen Einfluss der Belastung; die übrigen aber, angestellt mit Arten, deren horizontale Zweige hyponastisch sind, zeigen deutlich, wie das Gewicht der Blätter grade genügt, um der Hyponastie sammt dem Geotropismus das Gleichgewicht zu halten.

Torsionen.

Nach dem, was ich früher über die Torsionen der Blätter mitgetheilt habe, lässt sich mit Wahrscheinlichkeit vermuthen, dass auch bei den horizontalen Sprossen eine auf verschiedenen Seiten ungleiche Belastung die Ursache der Torsionen ist. Ich habe über diesen Gegenstand zwar nur wenige Versuche gemacht, doch bestätigen diese meine Vermuthung völlig.

Horizontale Aeste von Ulmus campestris, Celtis australis, Rhodotypus kerrioides u. A. habe ich im Freien, ohne sie von der Pflanze zu trennen, in horizontaler aber inverser Lage befestigt, nachdem ich bei einigen die Blätter an dem freien wachsenden Theile bis auf die Endknospe entfernt hatte. Die so behandelten Zweige krümmten sich aufwärts, zeigten aber keine Torsionen. Dagegen tordirten sich ebenso befestigte Zweige dieser Arten, deren Blätter nicht entfernt waren, und suchten dadurch ihre morphologische Oberseite oben zu stellen. Wie hier die Blätter auf der einen Seite ein Uebergewicht bilden, und so die Ursache der Torsion darstellen, ist aus dem Hergang der Torsion leicht ersichtlich. Es erheben sich nämlich zuerst die Blätter auf beiden Seiten durch geotropische und epinastische Krümmungen, da aber diese Krümmungen nicht völlig gleich stark sind, wird das mechanische Moment der Last auf der einen Seite bald grösser als auf der andern, und die Ursache der Torsion ist gegeben.

Dass auch in vielen andern Fällen eine auf verschiedenen Seiten ungleiche Belastung die Ursache von Torsionen von Sprossen ist, sowohl wenn diese bei Ausschluss des Lichts stattfinden, als wenn sie durch einseitige

Beleuchtung hervorgerufen werden, dafür spricht der Umstand, dass ich in meinen, in den drei vorhergehenden Abtheilungen mitgetheilten Versuchen ebensowenig wie bei den entsprechenden Versuchen mit Blättern jemals eine Torsion beobachtet habe.

Es ist hier der Ort, einen Fall mitzutheilen, wo in der natürlichen Entwickelung der betreffenden Arten entstehende Torsionen die nämliche Ursache haben, wie die bisher betrachteten. Die horizontalen Aeste vieler Sträucher mit decussirten Blättern stellen ihre Blätter in horizontaler Ebene zweireihig, und zwar dadurch, dass jedes Internodium eine Torsion von bis 90° erleidet. Die Richtung dieser Torsion wechselt in den aufeinander folgenden Internodien regelmässig ab. Eine ins Einzelne gehende Beschreibung dieser bekannten Erscheinung gab Frank [1]), der auch solche Zweige von Deutzia scabra sich im Dunkeln entwickeln liess, und fand, dass unter diesen Umständen die (etiolirten) Internodien ebenso gut ihre Torsionen vollendeten. [2]) Frank schliesst aus diesem Versuche richtig, dass die Schwere die Ursache dieser Torsionen ist, meint aber, dass man es mit einer direkten Einwirkung der Schwere auf die Internodien zu thun hat. Dem ist nun aber nicht so, wie meine hierüber gemachten Versuche sehr einfach zeigen.

An horizontalen Zweigen von Philadelphus hirsutus und Deutzia crenata entfernte ich die beiden Blätter eines Blattpaares, das soeben aus der Knospe hervortrat; das sie bildende Internodium hatte noch nicht angefangen, sich zu tordiren. Während der Entwickelung erlitt es nun keine Torsion, so dass, nachdem es völlig ausgewachsen war, die beiden Blattnarben der abgeschnittenen Blätter noch vertikal über einander standen, und ihre Verbindungslinie diejenige der Insertionspunkte der Blätter des vorhergehenden Paares rechtwinklig kreuzte. Hierdurch stand das nächstjüngere Blattpaar von vorne herein horizontal und sein Internodium erlitt also auch keine Torsion. An mehreren horizontalen Zweigen von Rhodotypus kerrioides entfernte ich sämmtliche Blätter von drei aufeinanderfolgenden Internodien, deren ältestes eben aus dem Knospenzustande heraustrat; nachdem sie völlig erwachsen waren und die ältesten in der Knospe gelassenen Blätter sich völlig entfaltet hatten, war in keinem der vier jetzt nicht von einander durch Blätter getrennten Internodien eine Torsion eingetreten; die Blattnarben standen noch völlig decussirt.

Bei den drei genannten Arten entfernte ich an mehreren horizontalen Zweigen das obere Blatt eines Blattpaares, das vor kurzer Zeit aus dem Knospenzustande herausgetreten war; das sie biegende Internodium hatte schon einen kleinen Theil seiner normalen Torsion ausgeführt. Das Gewicht des unteren sich entwickelnden Blattes hob aber diese Torsion wieder auf;

---

1) Dr. A. B. Frank, die natürliche wagerechte Richtung von Pflanzentheilen 1870. S. 15—17.

2) l. c. S. 40.

dieses Blatt stand, als es völlig ausgewachsen war, senkrecht unter der Narbe des entfernten Blattes, also mit dem vorhergehenden Blattpaare decussirt. Wiederholte ich diesen Versuch genau ebenso, aber entfernte ich das untere Blatt statt des oberen, so trat eine sehr bedeutende Torsion (von etwas über 90°) ein.

Die Versuche wurden an den Pflanzen selbst, ohne Abschneiden der Versuchszweige, und ohne Verdunkelung vorgenommen. Es geht aus ihnen hervor, dass das obere Blatt entweder ein grösseres Gewicht, oder doch ein grösseres mechanisches Moment hat, als das untere, und dass die hierdurch entstehende, auf verschiedenen Seiten ungleiche Belastung die Ursache der Torsion ist.

VI. Die Resultate.

In den vorigen Abtheilungen habe ich es versucht, die hauptsächlichsten Ursachen empirisch kennen zu lernen, deren Zusammenwirken die jedesmalige Richtung der bilateralsymmetrischen Pflanzentheile bestimmt. Ich habe diese Ursachen nur in qualitativer Hinsicht untersucht; für eine vollständige Erklärung der in der Natur beobachteten Erscheinungen müsste man sie selbstverständlich auch ihrer relativen Grösse nach kennen. So z. B. bei der Erklärung der horizontalen Richtung der Ausläufer der Erdbeeren. Diese sind, wie ich gezeigt habe, negativ geotropisch und negativ heliotropisch; ihre Epinastie ist, wenn sie besteht, jedenfalls eine sehr geringe. Zu der Erklärung kann man nun annehmen, dass der Geotropismus und der Heliotropismus (wenn man die Epinastie vernachlässigt) in ihnen gleich stark sind: das heisst, dass sie, jeder für sich, in gleicher Richtung auf die Ausläufer einwirkend, gleich starke Krümmungen hervorrufen würden. In der Natur wirken sie in entgegengesetzter, aber nach dieser Annahme gleich starker Weise auf die horizontalen Ausläufer; demzufolge ändern diese ihre Richtung nicht, sondern wachsen immer horizontal weiter. Man sieht aber, dass die genannte Annahme keine experimentell nachgewiesene ist, sondern dass hier nur die qualitativen Ergebnisse der Untersuchung der zu erklärenden Thatsache auch quantitativ angepasst sind.

Von einer Theorie der Ursachen der Richtung nicht-vertikaler Pflanzentheile können also bis jetzt nur einige Grundzüge angegeben werden. Die Grundlage zu einer solchen bilden zwei Hauptsätze, deren erster auch für die vertikalen Organe gilt. Dieser erste Satz ist der, dass alle natürlichen Richtungsänderungen der Pflanzentheile durch Veränderungen in dem relativen Längenwachsthume der verschiedenen Seiten und Schichten der sich krümmenden resp. tordirenden Theile verursacht werden. Der zweite ist der schon von den älteren Forschern angenommene Satz: Die Richtung nicht-vertikaler Pflanzenorgane wird durch das Zusammenwirken verschiedener inneren und äusseren Wachsthumsursachen verursacht.

Die meisten nicht-vertikalen Pflanzentheile sind schon bei ihrer Anlage nicht vertikal, sie besitzen eine physikalische Oberseite und Unterseite. In einigen Fällen bestimmt diese Lage allein die Ausbildung der anatomischen Oberseite und Unterseite (z. B. bei den Seitensprossen der Coniferen); bei vielen Pflanzen aber wird die Orientirung des bilateralen Organes durch die bei seiner Entstehung eingeschlagene Richtung in Bezug auf die Mutterachse bestimmt (Seitenknospe der horizontalen Aeste vieler Laubhölzer und der Seitenzweige der Cupressineen, Lateralität der Begonien.[1]) Ist einmal die Bilateralität vorhanden, so wird durch sie meistens ein beträchtlicher Einfluss auf die Richtung des Pflanzentheils ausgeübt, indem die Wachsthumsfähigkeit der anatomisch verschiedenen Seiten eine verschieden starke sein kann. Dieser Einfluss bestimmt, combinirt mit der Wirkung jener Kräfte, welche die Richtung der vertikalen Pflanzentheile bestimmen (Licht und Schwere), die Richtung bilateralsymmetrischer Organe; und indem die relative Grösse dieser verschiedenen richtenden Ursachen eine verschiedene sein kann, schlagen die verschiedenen Organe bald diese, bald jene Richtung ein.

Was ich über die verschiedene Wachsthumsfähigkeit der Ober- und Unterseite und über die Wirkung äusserer Kräfte in Bezug auf die Ursachen der Richtung bilateralsymmetrischer Pflanzentheile im Vorhergehenden Thatsächliches ermittelt habe, will ich jetzt noch einmal kurz zusammenfassen.

Die Wachsthumsfähigkeit der Oberseite und der Unterseite bilateralsymmetrischer Pflanzentheile ist eine ungleich starke; diese Ungleichheit ist aber je nach den Arten und Organen mehr oder weniger stark ausgeprägt. Demzufolge würde ein solches Organ, wenn alle äusseren Umstände allseitig gleichmässig einwirken, sich in seiner Medianebene krümmen. Man bekommt solche Krümmungen am Einfachsten, wenn man ein Organ von allen morphologisch verschiedenen mit ihm verbundenen Theilen trennt, und es dann in vertikaler Stellung in einem dunklen feuchten Raum aufstellt.

Eine grössere Wachsthumsfähigkeit der Oberseite als der Unterseite — Epinastie — zeigen fast alle Blatttheile und Blattrippen, die Seitenzweige der Inflorescenzen, einige Ausläufer und viele horizontale Aeste; diese krümmen sich also in der soeben erwähnten Stellung mit der Oberseite convex.

Eine geringere Wachsthumsfähigkeit der Oberseite als der Unterseite — Hyponastie — zeigen einige wenige Blattrippen und mehrere horizontale Aeste. Sie krümmen sich also in der oben erwähnten Stellung und unter den dort angegebenen Umständen mit der Oberseite concav.

Die meisten Blattrippen sind in der Jugend hyponastisch und werden erst bei dem Hervortreten aus dem Knospenzustande epinastisch; die epinastische Differenz steigt allmählig, bis sie kurz vor dem Ende des

1) Sachs, Lehrbuch d. Botanik. 2. Aufl. S. 185. 188.

Wachsthums wieder geringer wird und endlich erlischt, und das Blatt seine im entwickelten Zustande normale Stellung erreicht hat. In den Blättern, deren Mittelrippe unten sehr kräftig ist, schreitet dieses Erlöschen allmählig von der Basis bis an die Spitze der Rippe hinauf. Die Knospenlage der Blätter wird durch das stärkere Wachsthum ihrer Hinterseite, das Verlassen dieser Lage durch ein gesteigertes Wachsthum der Vorderseite verursacht. Ein sehr anschauliches Beispiel für die Hyponastie der Blätter in der Jugend, für die spätere Epinastie, und für das Aufhören der epinastischen Differenz vor dem Ende des Wachsthums liefern auch die von den Blättern der Farrnkräuter gemachten Nutationen.

Die äusseren, auf die Richtung der bilateralsymmetrischen Pflanzentheile einwirkenden Ursachen sind das Licht und die Schwere.

Der Heliotropismus ist meistens nur ein geringer, und zwar, wo er bei den Blattstielen und Rippen beobachtet wurde, immer ein positiver; bei den nicht-vertikalen Sprossen kommt sowohl positiver als negativer Heliotropismus vor. Der Einfluss des Lichts auf die Blätter und auf die positiv-heliotropischen bilateralsymmetrischen Sprosse macht also ihre epinastischen (resp. hyponastischen) Krümmungen geringer, wenn diese gegen das Licht convex sind, verstärkt sie aber, wenn sie gegen das Licht concav sind.

Die Schwere wirkt in doppelter Weise. Einmal beeinflusst sie direkt das Wachsthum (Geotropismus). Dann aber beeinflusst sie es indirekt, da das Gewicht der an den betreffenden Organen frei schwebenden Theile diese passiv hinabbiegt, und durch diese Zerrung das Wachsthum auf der Oberseite gefördert, auf der Unterseite aber beeinträchtigt wird (Belastung).

Der Geotropismus ist bei den untersuchten bilateralsymmetrischen Organen immer der negative, der auch den aufrechten Stengeln eigenthümlich ist. Er vermindert also die epinastischen Krümmungen bei der natürlichen Stellung oder führt sie sogar in die entgegengesetzte über, und verstärkt die hyponastischen.

Die Belastung biegt die Pflanzentheile herab; das durch sie beeinflusste Wachsthum sucht die neue Richtung dauernd zu machen. Der Einfluss der Belastung auf die Richtung der Pflanzentheile ist in vielen Fällen ein geringer, in vielen anderen aber ein mehr oder weniger beträchtlicher. Sehr wesentlich ist er z. B. bei stark beblätterten, biegsamen, horizontalen Aesten von Bäumen und Sträuchern; die Entfernung der Blätter hat bei diesen zunächst eine plötzliche Aufwärtskrümmung durch Elasticität zufolge (z. B. bei Corylus), dann aber wird diese Krümmung durch Geotropismus, in vielen Fällen auch durch Hyponastie nachträglich noch vergrössert (z. B. Abies).

Die auf verschiedenen Seiten ungleiche Belastung kann in stark wachsenden, nicht-vertikalen Pflanzentheilen Torsionen verursachen, welche durch das Wachsthum dauernd und immer grösser gemacht werden. In allen

von mir untersuchten Fällen, worin Pflanzentheile aus künstlichen unnatürlichen Lagen durch Torsion die natürliche Stellung wieder zu erreichen suchen, müssen die Torsionen dieser Ursache zugeschrieben werden. Der einfache anschauliche Beweis dafür ist der, dass die gleichen Theile unter gleichen Umständen sich nicht tordiren, wenn durch Entfernung der Belastung zugleich das einseitige Uebergewicht entfernt worden ist.

Bei horizontalen Zweigen mit decussirten, nachträglich zweireihigen Blättern werden die Torsionen der Internodien, welche in der Natur zu dem Erreichen der zweizeiligen Stellung der Blätter dienen, dadurch verursacht, dass jedesmal das obere Blatt, dessen Medianebene fast niemals genau mit der vertikalen Ebene der Sprosse zusammenfällt, ein grösseres mechanisches Moment besitzt, als das untere; entfernt man vor dem Eintreten der Torsion das obere Blatt oder auch beide Blätter eines Blattpaares, so unterbleibt die Torsion in dem sie tragenden Internodium.

Auf die Bewegungen der Rippen hat die Anwesenheit der Spreite einen Einfluss, der immer dahin zielt, diese Bewegungen geringer zu machen oder ganz zu verhindern. Isolirte Rippen krümmen sich unter gleichen Umständen stärker als die ganzen Blätter. Eine Folge hiervon ist es, dass ein auf beiden Seiten verschiedenes Wachsthum der Rippe Spannungen zwischen dieser und der Spreite hervorruft, deren Anwesenheit man leicht dadurch beweisen kann, dass die Rippe sich bei dem Isoliren aus der Spreite krümmt. Da die meisten Blätter epinastisch sind, sind diese letztgenannten Krümmungen in den meisten Fällen nach hinten concav.

Durch Combination dieser verschiedenen Ursachen oder einiger derselben wird man sich leicht, in jedem einzelnen Falle, wenigstens eine ungefähre Erklärung von der Richtung eines bilateralsymmetrischen Organes bilden können. Man muss aber beachten, dass auch die Richtung, welche das Organ bei seiner Anlage hat, und die Richtungsänderung, welche seine Insertionsfläche möglicherweise während seiner Entwickelung erfährt, einen Einfluss auf die betrachtete Richtung haben. Weiter kann die epinastische oder hyponastische Differenz an morphologisch verschiedenen Stellen der Organe eine ungleiche Grösse besitzen (so z. B. ist sie an der Basis und der Spitze vieler Blattstiele längere Zeit grösser als in der Mitte) und hängt die relative Grösse der verschiedenen hier angeführten Kräfte von der Natur und dem Alter des Organs ab. Um Richtungen zu erklären, zu deren Erreichung Torsionen mitgedient haben, genügt es meist nicht, den Endzustand zu kennen, weil vielfach die Krümmungen, welche anfangs die einseitige Ueberbelastung verursachten, später, nachdem die durch sie hervorgerufene Torsion das Organ in eine andere Lage gegen die äusseren Kräfte gebracht hat, durch diese wieder aufgehoben oder durch neue Krümmungen unkenntlich gemacht werden können.

VII.

Die Pflanze und das Auge als verschiedene Reagentien für das Licht.

Von

Dr. Julius Sachs.

In der Abhandlung „De l'influence qu'exerce l'intensite de la lumière colorié sur la quantité de gaz que dégagent les plantes submergées"[1] referirt PRILLIEUX zunächst über die einschlägigen Arbeiten von DAUBENY, HUNT, GARDNER, DRAPER, CLOËZ und GRATIOLET, GUILLEMIN, SACHS, WOLKOFF, TIMIRJANEFF und leitet sodann seine eigene Untersuchung mit folgendem Satze ein.

„Il m'a semblé que pour reconnaître le rôle qu'il convient d'attribuer aux rayons de divers couleurs, il était nécessaire de constater, quelle action peuvent produire sur les plantes les lumières de couleur différente mais d'intensité reconnue égale, et d'établir si cette action et differente pour les divers couleurs ou si, au contraire, elle est la même à égalité de pouvoir éclairante."

Der Zusammenhang, in welchem dieser Satz auftritt, zeigt, dass PRILLIEUX die von ihm aufgestellte Frage offenbar nur für eine strengere, bessere Fassung der von den anderen genannten Autoren behandelten hält, während es thatsächlich eine ganz andere ist. Die von uns anderen und neuerdings auch von PFEFFER (s. unser I. Heft) bearbeitete Frage ist die, welche Wirkungen üben die einzelnen oder irgend wie combinirten Bestandtheile des Sonnenlichts auf die Sauerstoffabscheidung (oder auf andere Functionen der Pflanze). — Die Frage, ob diese einzelnen Bestandtheile unter sich von gleicher oder ungleicher „Intensität"[2] sind und ob gelbe oder blaue

---

1) Ann. des sc. nat. 1869 T. X. p. 305 ff. Diese Abhandlung wurde in der Arbeit PFEFFER's (Heft I.) ohne dessen Schuld übersehen; PFEFFER hat sich bereits in der bot. Zeitg. Nr. 20 (1871) über die Resultate PRILLIEUX's ausgesprochen; mir kommt es darauf an, bei dieser Gelegenheit nachzuweisen, dass PRILLIEUX und seine Anhänger (vergl. botanische Zeitung 1871. No. 13) sich über die Frage selbst im Unklaren befinden.

2) Wir werden bald sehen, dass das Wort „Intensität" hier doppelsinnig gebraucht ist und besser ganz vermieden wird.

Strahlen von gleicher „Intensität" gleich oder ungleich wirken würden, ist dabei ganz gleichgiltig. Die Pflanzen wachsen nun einmal seit Beginn der Vegetation auf der Erde unter dem Einfluss dieses Sonnenlichts, welches aus Strahlen von verschiedener Brechbarkeit besteht und es ist jedenfalls eine wissenschaftlich berechtigte Frage, welche Wirkung jeder einzelne Bestandtheil dieses Lichtgemenges, so wie er sich darin eben vorfindet, ausübt. Was dagegen verschieden brechbares Licht von gleicher Intensität thun würde, wenn es vorhanden wäre, ist eine ganz andere Frage und hat nichts zu thun damit, was die wirklich vorhandenen Strahlen verschiedener Brechbarkeit im Sonnenlicht wirklich in der Pflanze leisten. Die von uns anderen bearbeitete Frage hält sich an das Gegebene, insofern sie das Sonnenlicht nimmt, wie es nun einmal ist, und die Wirkung seiner Bestandtheile, gleichgiltig ob ihre „Intensität" gleich oder ungleich ist, zu untersuchen auffordert: Prillieux's Frage dagegen entfernt sich von den thatsächlichen Verhältnissen, wie sie die Natur auf der Erdoberfläche grade bietet, es ist eine rein theoretische Frage, die ganz abstract auftritt.

Die Frage, wie wirken die verschiedenen wirklich vorhandenen Bestandtheile des Sonnenlichts auf die Pflanzen, kann beantwortet werden und ist, zumal bezüglich der Sauerstoffabscheidung, beantwortet dadurch, dass man einzelne Bestandtheile des Sonnenlichts durch Absorption auslöscht oder von der Pflanze abschliesst und jedesmal nur den Rest zur Wirkung kommen lässt; die von Prillieux aufgeworfene Frage dagegen verlangt Mittel und Methoden verschiedenfarbiges Licht von nachweislich gleicher „Intensität" herzustellen. Es lässt sich nun aber zeigen, 1) dass Prillieux ein solches Mittel nicht aufgefunden hat, und 2) dass seine Frage an sich zweideutig ist und einer anderen Fassung bedarf.

Bevor ich auf den Nachweis dieser Behauptung eingehe, will ich in Kürze zeigen, was Prillieux wirklich geleistet hat. Die erste zu erfüllende Bedingung, fährt er nach Obigem fort, war die, verschiedenfarbiges Licht von gleicher (sensiblement égale) „Intensität" zu bekommen. Zu diesem Zweck brachte er die verschiedenfarbigen Absorptionsflüssigkeiten in den 18—20 Mill. dicken Zwischenraum doppelwandiger Glascylinder, ähnlich aber in etwas anderer Weise als ich es früher gethan hatte. Nachdem zwei brennende Kerzen rechts und links von einem Stab so aufgestellt waren, dass die beiden Schatten auf ein weisses Papier fallend gleiche Lichtstärke hatten, wurden diese farbigen Cylinder über die Kerzen gestülpt und dann die blaue Lösung (wahrscheinlich Kupferoxydammoniak) des einen so lange verdünnt, bis der blaue Schatten (seiner Ansicht nach) dieselbe „Lichtintensität" hatte, wie der gelbe, welcher seine Farbe dem durch die Lösung von doppelt chromsaurem Kali gefallenen Licht verdankte. — Abgesehen davon, dass, wie wir unten sehen werden, auf diesem Wege nicht einmal ein Urtheil darüber zu gewinnen ist, ob die verschiedenen farbigen Schatten für das Auge wirklich gleiche Helligkeit hatten, begeht

nun Prillieux den groben Verstoss, diese bei Kerzenlicht geprüften Lichtschirme zu Beobachtungen im Sonnenlicht zu benutzen, indem er unter die Cylinder kleine Wassergefässe mit Wasserpflanzen stellte, deren ausgeschiedene Gasblasen in der von mir angegebenen Weise gezählt wurden.

Was nun das von ihm gefundene Resultat betrifft, so lege ich zunächst keinen grossen Werth darauf, dass er auch im gelben Licht erheblich geringere Wirkung als ich im Vergleich mit der des weissen Lichts erhielt, da diess von Nebenumständen, der grösseren Dicke der Lösungsschicht, der Reinheit der Lösung u. dgl., abhängen kann.[1]) Unsere Aufmerksamkeit verdient vielmehr der Schluss: »qu' à égalité d'intensité lumineuse la lumière orangé et la lumière bleue agissent avec une energie sensiblement égale« u. s. w.

Dieser Schluss ist nun insofern unzulässig, als Prillieux's ,,blaue Lösung'' durchaus nicht bloss blaues Licht, sondern Licht in allen Farben durchliess. Er selbst sagt: ,,Sans doute[2]) la lumière bleue très pâle, avec laquelle j'operais, était loins, d'être pure, elle laissait passer certainement (!) un certain nombre de rayons de toutes les couleurs; toutefois il me semble absolutement impossible d'admettre, comme l' a supposé M. Sachs, que les solutions bleues peu concentrées agissent au raison des rayons jaunes et aurangés, qu'elles laissent passer, car elles n'en laissent jamais (wieder das verhängnissvolle jamais) passer qu'un bien petit nombre en proportion de ceux qui traversent la solution de bicarbonate de potasse''; dies Alles beruht also auf ungegründeter Vermuthung, nicht auf Beobachtuug; was Prillieux hier unter un bien petit nombre versteht, sei dahingestellt, gewiss ist aber Folgendes: wenn man nach seinem Verfahren eine Lösung von Kupferoxydammoniak von etwa 20 Mill. Dicke so verdünnt, dass sie bei Kerzenlicht einen anscheinend ebenso hellen Schatten wie eine gleich dicke Schicht des Kalibichromats liefert[3]), und wenn man diese sehr hellblaue Lösung dann in direktem Sonnenlicht spectroskopisch prüft, so sieht man ein vollständiges Sonnenspectrum, welches auch in seinen minder brechbaren Theilen nur wenig abgeschwächt ist, etwa so, wie wenn man ein dünnes Papier vor den Spalt hält.

Die ganze Untersuchung Prillieux's läuft also darauf hinaus, dass das ganze, ein wenig abgeschwächte Sonnenspectrum bei der Gasabscheidung ungefähr ebensoviel (sensiblement égale etc.) leistet, als die minder brech-

---

1) Dass auf diesem Wege übrigens die Gasabscheidung im gelben Licht zu gross gefunden wird, hat Pfeffer bereits (Heft I. p. 58) nachgewiesen.

2) Dieses sans doute zeigt, dass er seine Lösungen nicht einmal spectroskopisch geprüft hat.

3) Um dabei unparteiisch zu verfahren, liess ich das Urtheil darüber, ob der blaue und gelbe Schatten ,,gleich intensiv'' seien, von Herrn Baranetzky abhängen, der Prillieux's Auffassung im Princip theilte und sich im Sommer 1871 in Würzburg befand.

bare gelbrothe Hälfte desselben, welche von der Lösung des Kalibichromats durchgelassen wird. Dass die von PRILLIEUX benutzte „blaue Lösung" dem menschlichen Auge noch den Eindruck von Blau macht, berechtigt keineswegs dazu, das von ihr durchgelassene Licht als „blaues Licht" in der Anwendung auf die Pflanze zu bezeichnen und dieses „blaue Licht" nun mit dem gelben zu vergleichen. Ich denke, die von mir beantwortete Frage war besser gefasst, indem ich die beiden bekannten Lösungen so einrichtete, dass die eine grade diejenige Hälfte des Sonnenlichts durchliess, welche die andere absorbirte; so konnte ich bestimmen, was die eine (roth-gelb-grüne) und was die andere (grün-blau-violette) Hälfte des Sonnenlichts leistet, und daran, so wie an den Ergebnissen DRAPER's, PFEFFER's u. a. m. wird durch PRILLIEUX's Ergebnisse nicht das Geringste geändert; statt etwas Neues zu lehren, bedürfen seine Ergebnisse selbst erst der Interpretation auf Grund der von uns anderen bereits gefundenen Thatsachen. Sein „blaues Licht" könnte man fast eben so gut gelbes Licht nennen, welches ein wenig abgeschwächt und mit viel blauem und anderem verunreinigt ist; und da das blaue Licht eine, wenn auch geringe, Gasabscheidung bewirkt, so wird die Abschwächung des gelben durch diesen Zuschuss so ausgeglichen werden können, dass das sogenannte blaue Licht PRILLIEUX's eine „sensiblement égale" Wirkung haben konnte, wie das gelbe Licht von grösserer Helligkeit. Das citirte Resultat PRILLIEUX's beruht aber auf einer zweifachen Anwendung des Wortes „blaues Licht"; einmal wird es in dem Sinne genommen, dass eben nur die benutzte Lösung dem Auge blau erscheint (obgleich sie das ganze Spectrum durchlässt), das andere Mal, wo es darauf ankommt, den Schluss zu ziehen, wird es in dem Sinne gebraucht, den ich und andere dem Wort geben, wonach es die blaue Hälfte des Spectrums (etwas grün, blau, violett, ultraviolett) allein bedeutet.

BARANETZKY[1]), der PRILLIEUX's Fragestellung für gerechtfertigt hielt, stiess sich doch an die Thatsache, dass die sehr hellblaue Lösung desselben „alle Strahlen des Spectrums durchlässt"; er schlug daher den entgegengesetzten Weg ein, und machte eine Kupferoxydammoniaklösung von c. 25 Mill. Dicke so dunkel, dass sie nur violettes, blaues, einen Theil des grünen, und Spuren des rothen Lichts durchliess; um nun ein hinreichend dunkles gelbes Licht zu bekommen, benutzte er eine concentrirte Lösung von Eisenchlorid, „deren Consistenz und somit Lichtabsorption es möglich machten, beide Hälften des Spectrums von gleicher Lichtintensität zu erhalten". Sein Resultat weicht nur darin von dem PRILLIEUX's ab, dass er im sog. blauen Licht sogar stärkere Gasabscheidung beobachtete, als in dem sog. gelben. Da genauere Angaben über das Verfahren fehlen, so erkläre ich mir dieses Ergebniss durch die Annahme, dass auch seine blaue Lösung noch sehr

1) Botan. Zeitg. 1871. No. 13.

hell war, wie auch daraus folgt, dass sie noch Spuren von Roth durchliess, während die Eisenchloridlösung seiner eigenen Angabe nach grade „die am stärksten leuchtenden Strahlen in ziemlich beschränkter Menge durchliess". Es waren also auch hier zwei Lichtgemenge in Action gesetzt, die dem Auge zwar den Eindruck von gelb und blau machen, deren wahre Zusammensetzung aber unbekannt ist. Auf Grund der von Pfeffer gewonnenen Werthe für die einzelnen Spectralfarben leuchtet jedoch ein, dass man Lichtgemenge von beliebiger Mischung und Färbung fürs Auge herstellen kann, die bei gehöriger Abschwächung bald der einen, bald der andern Strahlen die verschiedensten Wirkungsgrade ergeben müssen. Das gilt principiell nicht bloss für die Gasabscheidung, sondern für alle vom Licht beeinflussten Functionen der Pflanze.

Nach dem Allen führt also Prillieux's Verfahren schliesslich zu Ergebnissen, die an sich keine klare Einsicht betreffs der Wirkung des Lichts auf Pflanzen gewähren, die vielmehr erst durch das bereits darüber Bekannte ihre Erklärung finden. Prillieux stellte die Frage, wie wirkt Licht von verschiedener Farbe bei gleicher Intensität, statt dessen liefert seine Methode verschiedene Lichtgemenge, von denen das eine die minder brechbare Hälfte des Spectrums, das andere das ganze (abgeschwächte) Spectrum umfasst. Zudem lässt sich zeigen, dass auch die Gleichheit der „Intensität", wie er sie auffasst, keinen bestimmten Sinn hat. Somit hat Prillieux die von ihm selbst gestellte Frage in keiner Weise beantwortet.

Soll überhaupt die von Prillieux aufgestellte Frage einer besseren Bearbeitung zugänglich gemacht werden, so bedarf sie zunächst einer genaueren Fassung, die sich folgendermaassen ausdrücken lässt:

Wie verhält sich die Gasabscheidung (allgemeiner: wie verhalten sich überhaupt Pflanzen) unter dem Einfluss verschiedenfarbigen Lichts, dessen Helligkeit oder Leuchtkraft für das Auge die gleiche ist. — Mit dieser darf eine andere Frage durchaus nicht verwechselt werden, welche sich dahin aufstellen lässt: wie verhalten sich die Pflanzen unter dem Einfluss von Strahlen verschiedener Brechbarkeit, deren objective Intensität, d. h. deren lebendige Kraft, die gleiche ist?

Der grosse Unterschied der beiden Fragen wird sofort einleuchten, wenn man beachtet, dass die subjective Lichtintensität oder besser die Helligkeit oder Leuchtkraft des Lichts eben nur eine Beziehung bestimmter Strahlen zum Sehnerven ins Bewustsein bringt, dass diese Beziehung jedoch keineswegs mit der objectiven Schwingungsintensität des Lichts oder seiner lebendigen Kraft steigt und fällt, wenn man Strahlen von verschiedener Brechbarkeit vergleicht; mit anderen Worten, die Helligkeit des Lichts verschiedener Farbe ist kein Maass für, und erlaubt keinen Schluss auf die objective Kraftgrösse, welche die dem Auge verschiedenfarbig erscheinenden Strahlen repräsensiren. Man kann diesen Sachverhalt nicht wohl klarer

aussprechen, als es von Helmholtz [1]) in folgenden Worten geschieht: „Wenn wir die Intensität des objectiven einfarbigen und verschiedenfarbigen Lichts gemessen denken durch die lebendige Kraft der Aetherbewegung, so müssen wir sie, nach dem allgemeinen Gesetz von der Erhaltung der Kraft, proportional setzen der Wärmemenge, welche bei der Absorption des betreffenden Lichts entwickelt wird. Es ist diess bisher das einzige physikalische Mittel, durch welches wir die Intensität von Aetherwellen verschiedener Schwingungsdauer vergleichbar machen können. Wenn wir die Leuchtkraft der Aetherwellen verschiedener Schwingungsdauer mit dem Auge vergleichen, so zeigt sich, dass die Intensität der Lichtempfindung keineswegs proportional ist der durch die Wärmeentwickelung gemessenen lebendigen Kraft dieser Aetherschwingungen. Wenn wir ein Spectrum mittelst eines Steinsalzprismas entwerfen, welche Substanz unter allen am gleichmässigsten Strahlen verschiedener Art durchgehen lässt, so liegt, wie Melloni gefunden hat, das Maximum der Wärme jenseits des äussersten Roth, wo das Auge kein Licht mehr empfindet, und die Wärme nimmt im Spectrum continuirlich vom Violett zum Roth zu, während das Maximum des Lichts (der Helligkeit) im Gelb sich befindet. Ebenso habe er schon früher bemerkt, dass die ultravioletten Strahlen, wenn sie durch Fluorescenz in Strahlen mittlerer Brechbarkeit verwandelt werden, *an Leuchtkraft ausserordentlich zunehmen, während nicht anzunehmen ist, dass die lebendige Kraft ihrer Schwingungen dadurch vermehrt werden könne.* [2]) Die Stärke der Lichtempfindung hängt also nicht allein ab von der lebendigen Kraft der Aetherschwingungen, sondern auch von der Schwingungsdauer derselben. Es folgt daraus, *dass alle mittels des Auges vollzogenen Vergleichungen der Stärke verschiedenartig zusammengesetzten Lichts keinen von der Natur des Auges unabhängigen Werth haben.*" — Ich möchte es mir nicht versagen, noch folgende wichtige Stelle aus dem genannten Werk (p. 444) anzuführen: „Die Art der Wirkung muss natürlich immer von den Eigenthümlichkeiten sowohl des wirkenden Körpers abhängen, als von denen des Körpers, auf welchen gewirkt wird. Darüber sind wir auch keinen Augenblick in Zweifel, wenn wir von solchen Eigenschaften des Körpers reden, welche sich zeigen, wenn der eine auf einen anderen, ebenfalls der Aussenwelt angehörigen Körper wirkt, z. B. bei den chemischen Reactionen. Bei den Eigenschaften dagegen, welche auf Wechselbeziehungen der Dinge zu unseren Sinnesorganen beruhen, sind die Menschen von jeher geneigt gewesen, es zu vergessen, dass wir es auch hier mit der Reaction gegen ein besonderes Reagens, nämlich unseren Nervenapparat, zu thun haben, und dass auch Farbe, Geruch, Geschmack, Gefühl der Wärme und Kälte

---

1) Handbuch der physiol. Optik, Leipzig 1867. p. 316.

2) Vergl. darüber auch Fechner's Psychophysik. Leipzig 1860. p. 249 unten.

Wirkungen sind, die ganz wesentlich von der Art des Organs, auf welches gewirkt wird, abhängen."

Die Richtigkeit dieser Betrachtungen tritt bei den Pflanzen um so lebhafter hervor, als bei ihnen verschiedene Processe ganz verschiedene Beziehungen zum farbigen Licht erkennen lassen: die auf photographische Platten kaum einwirkenden Theile des Spectrums sind es, welche die Kohlensäurezersetzung in grünen Organen weit überwiegend bewirken, während die von den Physikern sogen. chemischen Strahlen (die blauen, violetten und ultravioletten) wenig oder nichts wirken; jene Strahlen sind es zufällig auch, welche auf unsere Retina den lebhaftesten Lichteindruck hervorbringen; ich sage zufällig, denn es lässt sich kein causaler Zusammenhang dafür denken, dass die leuchtenden Strahlen in dem Maasse, wie sie uns den Eindruck der grösseren oder geringeren Helligkeit machen, auch mehr oder weniger auf die Sauerstoffabscheidung der Pflanze einwirken; die subjective Eigenschaft der Helligkeit ist eben so wenig die Ursache der Gasabscheidung in der Pflanze, wie diese die Ursache der Helligkeit im Auge; es wäre daher auch unrichtig, zu sagen, die kohlensäurezersetzende Kraft der Lichtstrahlen hänge von ihrer Helligkeit (oder wie es gewöhnlich zweideutig genannt wird, von ihrer Lichtintensität) ab, es darf vielmehr nur behauptet werden, dass die Curve der Helligkeiten mit derjenigen, welche die sauerstoffabscheidenden Kräfte repräsentirt, ungefähr übereinstimmt. (Vergl. Pfeffer Heft I p. 46.)

Die Strahlen von starker Brechbarkeit, welche dem Auge immer nur den Eindruck geringer Helligkeit machen, dafür aber die photographischen Platten am stärksten afficiren, sind es, welche das Wachsthum positiv-heliotropischer Pflanzenstengel verlangsamen, also auf die Mechanik des Wachsthums einwirken, während sich die dem Auge hell erscheinenden Strahlen wie tiefste Finsterniss in dieser Beziehung verhalten. Besonders lehrreich ist dabei, dass die wachsende Pflanze mit grosser Sicherheit die Existenz von blauen oder violetten Strahlen gewissermaassen herausfühlt in einem Lichtgemenge, das unsere Retina nur als eine homogene Mischfarbe erkennt, ohne zu errathen, dass auch blaues oder violettes Licht darin ist: lässt man z. B. mono- oder dicotyle Keimpflanzen in Kästen wachsen, die nur von einer Seite her Licht durch Lösungen oder Gläser von weinrother Färbung erhalten (z. B. durch eine parallelwandige Flasche, die mit hellem Rothholzextract oder mit Orsellinlösung gefüllt ist), so krümmen sie sich kräftig nach dieser Seite hin; das blosse Auge erkennt in diesem Licht kein Blau oder Violett, das Prisma aber legt solches dar und diese Strahlen sind es, welche die Krümmung der Stengel allein bewirken, denn hinter einer Lösung, welche nur rothe, orange und gelbe Strahlen durchlässt, erfolgt keine Krümmung.

Diese Bemerkungen werden genügend zeigen, dass die Helligkeit, die

eine blosse Beziehung des Lichts zu unserer Retina ist, nicht als Maassstab der Wirkungen aufgefasst werden darf, welche das Licht, d. h. die Aetherschwingungen auf die Pflanze ausüben.

Gehen wir nun nach dieser vorläufigen Orientirung auf unsere oben gestellten Fragen zurück, so erscheint der Werth der ersten: wie verhalten sich die Pflanzen unter dem Einfluss verschiedenfarbigen Lichts von gleicher Helligkeit? ziemlich gering, weil hier zwei Reactionen des Lichts, nämlich seine Wirkung auf das Auge und seine Wirkung auf die Pflanze, die unter sich keine ursächliche Verbindung haben, doch in willkürliche Verbindung gesetzt sind. Nun kann es allerdings in manchen Fällen bequem sein, die Beantwortung der Frage zu gewissen anderen Zwecken zu kennen und die betreffende Untersuchung mag daher nicht grade überflüssig sein. Dabei sind aber besondere Schwierigkeiten nicht zu übersehen. Die Bestimmung, ob man verschiedenfarbiges Licht von gleicher subjectiver Intensität oder Helligkeit vor sich hat, ist auf dem von PRILLIEUX eingeschlagenen Wege nämlich nicht zu erreichen, schon desshalb nicht, weil er stillschweigend voraussetzt, dass die Augen verschiedener Beobachter bezüglich der Farbenwahrnehmung graduell gleich sind, was keineswegs der Fall ist. Aber auch angenommen, diese Schwierigkeit bestände nicht, so hängt das rein subjective Urtheil über die Helligkeit verschieden farbigen Lichts noch von Umständen ab, welche die Untersuchung aufs Aeusserste erschweren und an welche PRILLIEUX ebenfalls nicht gedacht hat; zum Beweise führe ich noch eine Stelle aus dem citirten Werke von HELMHOLZ an, wo es p. 317 heisst: „PURKYNĚ hat schon bemerkt, dass Blau bei schwächerem Licht gesehen wird, Roth erst bei stärkerem. Später hat DOVE darauf aufmerksam gemacht, dass wenn man die Lichtstärke von Flächen, die mit verschiedenen Farben überzogen sind, bei verschiedener Beleuchtungsstärke vergleicht, bald die eine, bald die andere heller aussieht.“ Inwiefern die neueren, von K. VIERORDT [1]) beschriebenen Methoden zur Vergleichung der Helligkeit verschiedenfarbigen Lichts sich bei derartigen Untersuchungen anwenden lassen, mag einstweilen dahingestellt bleiben.

Einen viel grösseren wissenschaftlichen Werth hätte die Beantwortung der anderen Frage: wie verhalten sich die Pflanzen unter dem Einfluss verschieden brechbarer Strahlen von gleicher lebendiger Kraft oder gleicher Schwingungsintensität; gegenwärtig fehlt es aber an jedem Mittel, Licht von dieser Eigenschaft herzustellen; die Beantwortung dieser Frage muss verschoben werden, bis uns die Physiker in den Stand setzen, uns blaues, grünes, gelbes, rothes Licht von gleicher lebendiger Kraft zu verschaffen.

---

1) VIERORDT: die Anwendung des Spectralapparates zur Messung und Vergleichung der Stärke des farbigen Lichts (Tübingen 1871).



Bis dahin aber ist es eine lohnende Aufgabe, die im Sonnenlicht enthaltenen Lichtarten, so wie sie in denselben eben vorkommen, von einander zu sondern und sie so auf die Pflanzen einwirken zu lassen; diess ist möglich, und zum Theil bereits mit Erfolg geschehen; der von Prillieux eingeschlagene Weg aber ein Abweg, der vermieden werden muss.

Würzburg, 16. Septbr. 1871.

Druck von Breitkopf und Härtel in Leipzig

Taf. I.

180 160 140 120 100 80 60 40 20

t°C

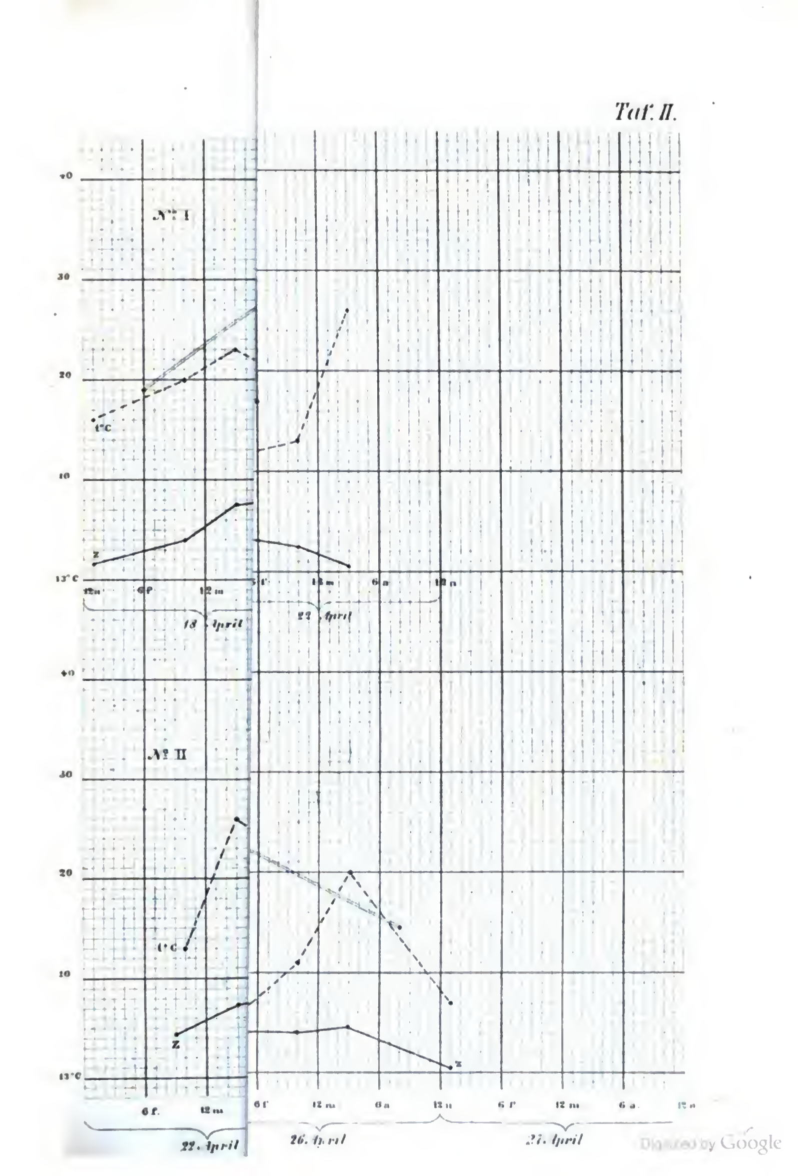
t°C

gr

el

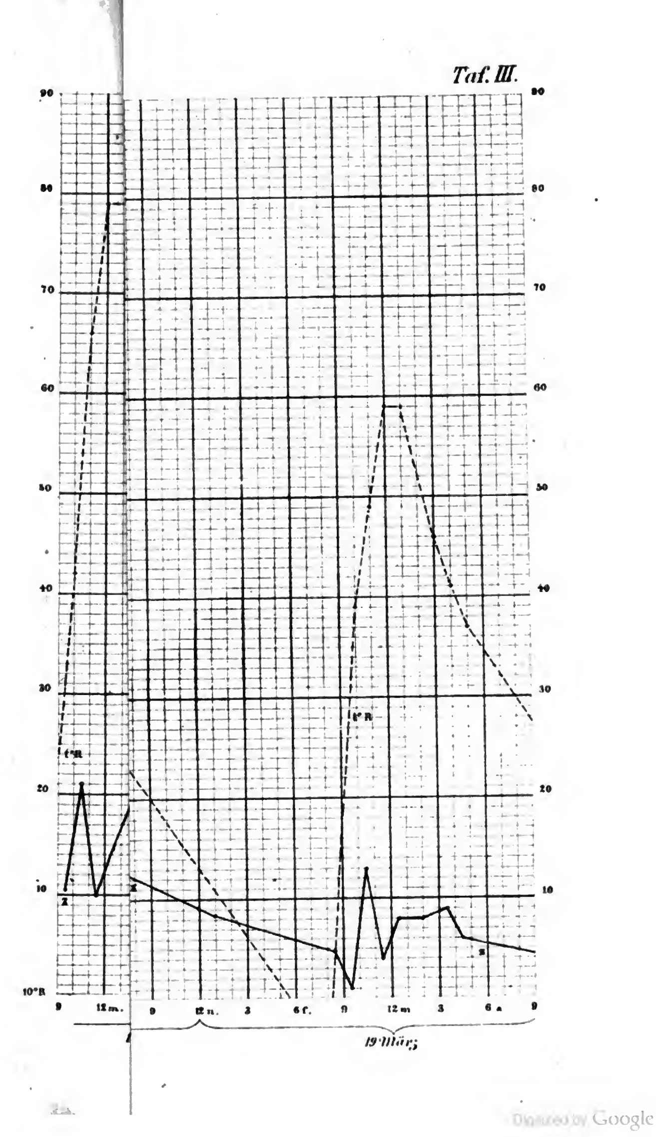
März 19 20 8 9 10

Taf. II.



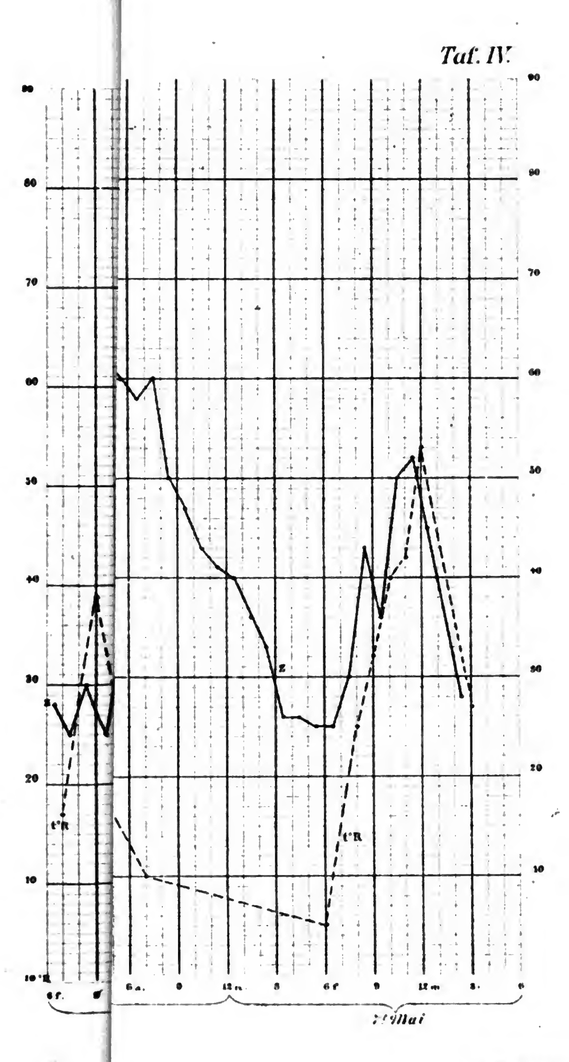
Nº I
40
30
20
10
13° C
t°C
Z
12n
6 f
12 m
6 f
12 m
6 a
12 n
18. April
22. April
Nº II
40
30
20
10
13° C
t°C
Z
z
6 f.
12 m
6 f
12 m
6 a
12 n
6 f
12 m
6 a.
12 n
22. April
26. April
27. April

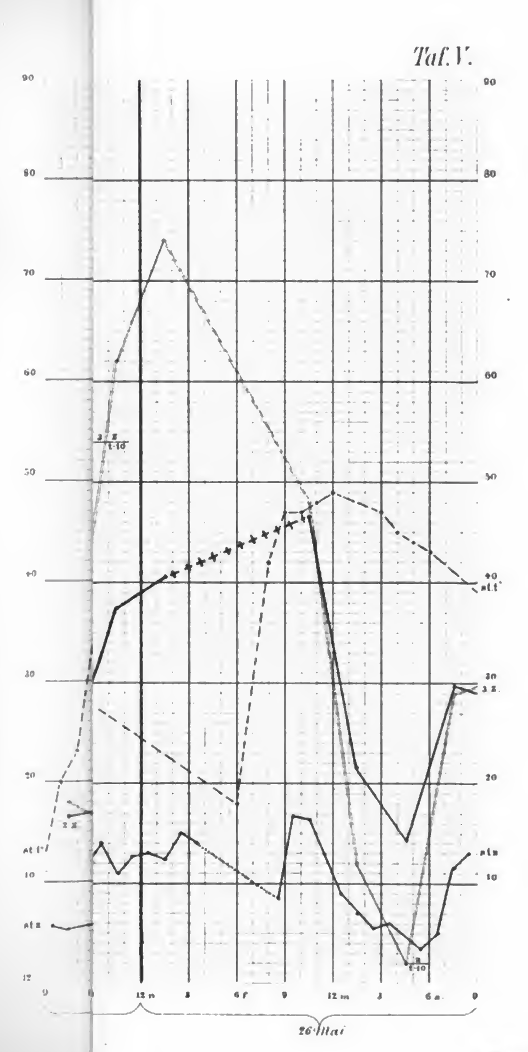
Taf. III.



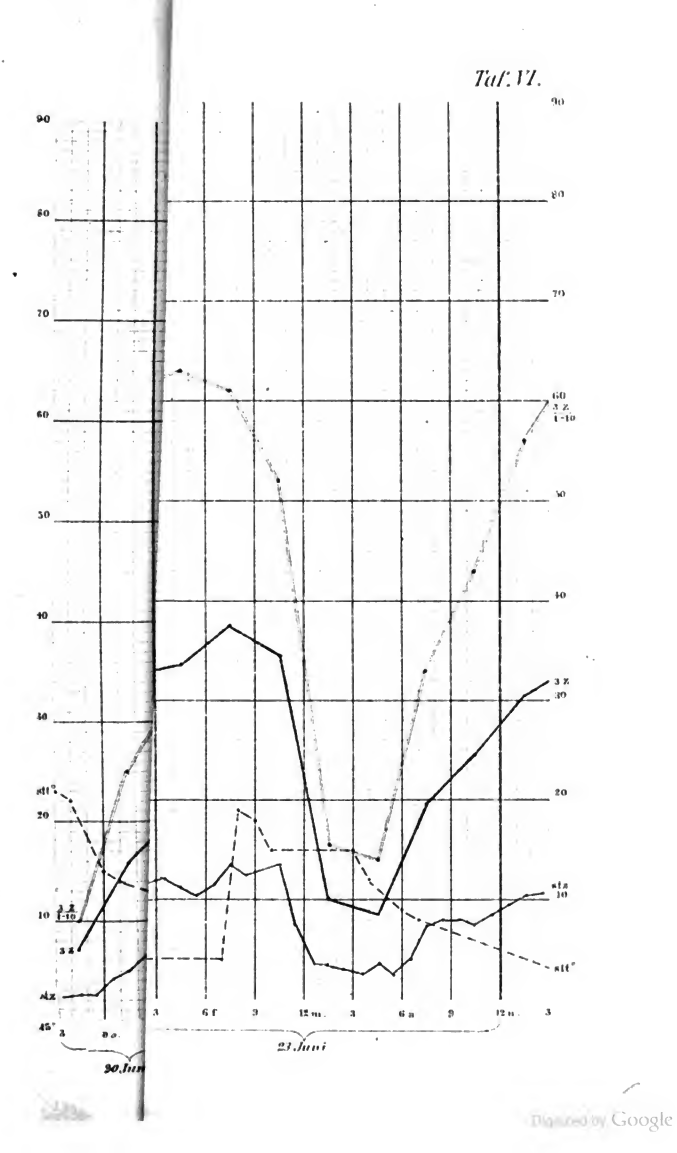
90
80
70
60
50
40
30
20
10
10°R
t°R
t°R
9
12 m.
9
12 n.
3
6 f.
9
12 m
3
6 a
9
19 März

Taf. IV.



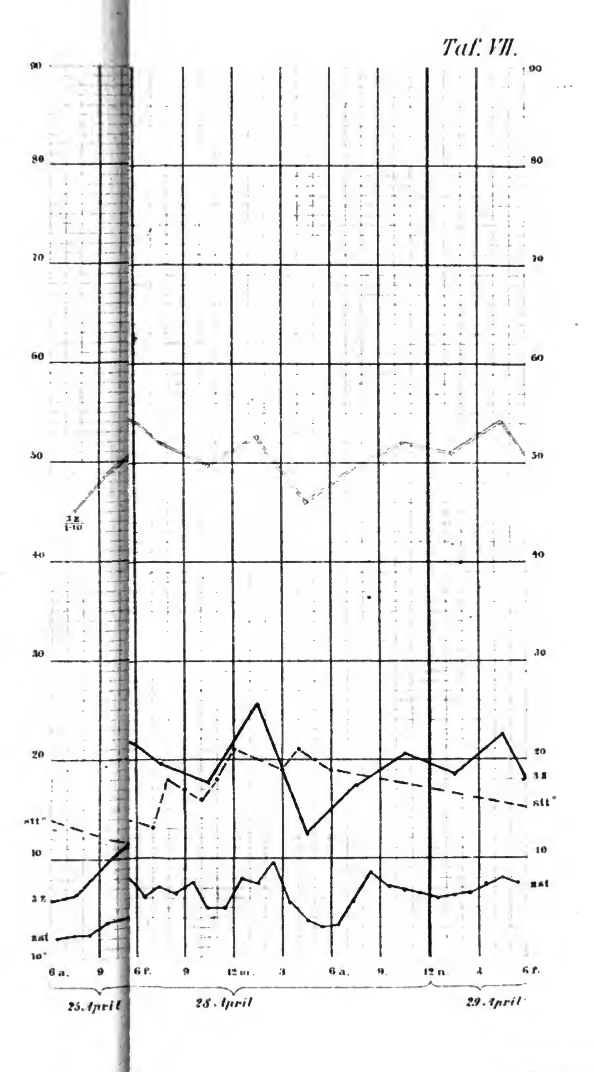


90
80
70
60
50
40
30
20
10
st t°
st z
3 z
z z
z / 1·10
12 n
6 f
12 m
6 a
26 Mai



Taf. VI.
90
80
70
60
50
40
30
20
10
3
6 f
9
12 m.
3
6 a
9
12 n.
3
23. Juni

Taf. VII.


90
80
70
60
50
40
30
20
10
3 z
1·10
stt°
3 z
zst
10°
6 a.
9
6 p.
9
12 m.
3
6 a.
9.
12 n.
4
6 p.
25. April
28. April
29. April
90
80
70
50
40
30
20
3 z
stt°
10
zst

Druck von Breitkopf und Härtel in Leipzig.

ARBEITEN

DES

BOTANISCHEN INSTITUTS

IN

WÜRZBURG.

HERAUSGEGEBEN VON

PROF. DR. JULIUS SACHS.

Heft III.

LEIPZIG,

VERLAG VON WILHELM ENGELMANN.

1873.

VIII.

Ueber das Welken abgeschnittener Sprosse.

Von

Dr. Hugo de Vries.

Es ist eine bekannte, im Pflanzenreich ziemlich weit verbreitete Erscheinung, dass grossblättrige Sprosse, deren Holzkörper noch nicht hinreichend entwickelt, deren Transspiration aber sehr beträchtlich ist, nach einiger Zeit anfangen zu welken, wenn man sie frisch von der Pflanze abgeschnitten und in Wasser gestellt hat. Um sie wieder frisch zu machen, genügt es, das Wasser nicht durch einfache Saugung aufnehmen zu lassen, sondern es mittelst Druck in die Pflanze hinein zu pressen. Sachs, der diesen Versuch zuerst machte, fand, dass in vielen Fällen ein Quecksilberdruck von 8 - 10 Cm. hinreichend war, die welken Sprosse innerhalb 10 Minuten bis einer halben Stunde wieder turgescent zu machen.[1]) Bei einer späteren Ausdehnung dieser Untersuchungen fand er, dass die durch Druck wieder frisch gemachten Sprosse auch dann noch turgescent bleiben, wenn durch den Verbrauch des Wassers im Apparat für die Verdunstung der Blätter das Quecksilber in dem offenen Rohre sich so gesenkt hat, dass es um 8 bis 10 Cm., oder auch mehr, tiefer steht als in dem durch die Pflanze geschlossenen Rohre; m. a. W., dass die durch Druck wieder turgescent gewordenen Sprosse später auch bei negativem Druck frisch bleiben können (so bei Helianthus annuus, Nicotiana, u. v. A.)

Ferner fand er, dass der Wurzelstumpf solcher Pflanzen, wenn man sie während der Verdunstung durchschneidet, in den ersten Stunden Wasser einsaugt, und erst später anfängt, Saft ausfliessen zu lassen, dass aber die Menge des ausgeschiedenen Saftes immer geringer, oft viel geringer ist als die Menge des, während derselben Zeit vom abgeschnittenen und in Wasser gestellten Gipfel aufgenommenen Wassers, ungeachtet dieser oft

1) Sachs, Lehrbuch d. Botanik 2. Auflage S. 575.

sehr stark welkt, also weniger aufnimmt, als er im gesunden Zustande aufnehmen würde.

Im Anfang des Sommers 1871 theilte Herr Professor Sachs mir diese Beobachtungen mit, und forderte mich auf, die bei diesen Untersuchungen noch unbekannt gebliebene Ursache des Welkens solcher Sprossgipfel zu erforschen. Herr Professor Sachs hatte die Güte, mir die Veröffentlichung der von ihm gemachten Versuche, woraus er obigen Schluss ableitete, an dieser Stelle zu erlauben. Da sie den Ausgangspunkt für meine eigenen Untersuchungen über die genannte Frage bilden, schicke ich sie der Mittheilung dieser voran.

I. Versuch. *Tithonia tagetiflora.*

Eine im Topf im Freien erwachsene, kräftige Pflanze mit blühendem Terminalkopfe, zahlreichen Blättern und kleinblättrigen Achselknospen wurde am 15. Aug. 1870 Abends 4 Uhr nach einem sonnigen Tage in's Zimmer genommen und der Stengel 7 Cm. über der Erde durchschnitten. Auf den Wurzelstumpf wurde ein Glasrohr aufgesetzt, und in dieses 20 Cm. hoch Wasser gegossen. In den ersten 40 Minuten sog der Wurzelstumpf aus dem Rohr 1,1 CC., und bis zum 16. Aug. 8 Uhr früh noch 1,3 CC., dann fing er an Wasser auszuscheiden. Jetzt wurde ein neues Ausflussrohr aufgesetzt, in dem der Druck auf die Schnittfläche constant = 0 war. Seit der Zeit schied der Wurzelstumpf mehrere Tage hindurch Wasser ab, und zwar in den ersten 24 Stunden 4,0 CC., in den drei folgenden Tagen je 2,0—2,6 CC. (Temperatur der Erde im Topf 16,2°—21,4° C.)

Der Gipfel wurde sogleich nach dem Abschneiden mittelst eines doppelt durchbohrten Kautschuckpfropfes auf einen mit Wasser gefüllten Cylinder gesetzt; durch das zweite Loch wurde ein Wasser-Manometer angebracht, um die Saugung abzulesen. In den ersten 40 Minuten, also in der Zeit, wo der Stumpf 1,1 CC. aufsog, sog der Gipfel 2,7 CC. Wasser; er begann sofort zu welken. Am 16. August, 8 Uhr früh, war der Gipfel ganz welk, alle Blätter und Zweige hingen herab, er hatte 40 CC. gesogen. Um 9 Uhr 20 Min. wurde der Gipfel in ein U-förmiges Rohr gesetzt, und das Wasser unter 20 Cm. Quecksilberdruck hineingepresst. Nach etwa $5^1/_2$ Stunden war der Hauptstamm wieder straff, die Blüthe aufgerichtet, die Blätter aber noch welk. Es waren 25 CC. gesogen, und dadurch das Quecksilber in beiden Schenkeln des Rohres auf ein gleiches Niveau gekommen. Jetzt wurde neues Wasser eingefüllt, und wieder unter einen Druck von 20 Cm. Quecksilber versetzt. In weiteren 17 Stunden hatte der Gipfel fast alles Wasser, nämlich 48 CC. aufgesogen, und dabei das Quecksilber auf 19 Cm. Höhe hinaufgehoben. Dabei waren der Hauptstamm und die Blüthe frisch geblieben; die Blätter aber noch welk. Die Lufttemperatur während dieses Versuchs war ziemlich constant 21—22° C.

II. Versuch. *Nicotiana latissima.*

Kräftige, im Topf im Freien erwachsene blühende Pflanze mit 10 grossen

Blättern. Am 10. Aug. 1870 um 7 Uhr Abends wurde der Stamm oberhalb des zweitunteren Blattes durchschnitten, und der Gipfel mit acht Blättern in Wasser gestellt; der Stumpf wurde, nach Wegnahme der Blätter und Verschmierung der Narben mit Maskenlack, mit einem Abflussrohr versehen, in welchem der Druck auf die Schnittfläche = 0 war. Die Pflanze hatte die beiden letzten Tage während starken Regens draussen gestanden; dennoch sog der Stumpf ein wenig Wasser ein (etwa 0,5 CC.). Die folgende Tabelle enthält die vom Wurzelstumpf abgeschiedenen Saftmengen, und die in gleichen Zeiträumen vom Gipfel aufgesogenen Wassermengen.

Tag 1870.	Stunde.	Temperatur °C.		Pro Stunde berechnete		Bemerkungen.
		Erde.	Luft.	Ausflussmenge in CC.	Saugung des Gipfels in CC.	
10. Aug.	7 Ab.					Anfang.
11. Aug.	8 Früh	18.9	19.5	0.03	3.0	Meist Regen, Luft feucht.
	10.15	19.2	20.2	0.15	4.4	
	12.30	19.6	20.7	0.15	3.6	
	4.5	20.6	21.9	0.24	4.8	
	5.10	—	—	0.13	—	
12. Aug.	8 Fr.	19.2	20.5	0.10	2.6	Meist Regen, Luft feucht.
	10.0	—	—	0.30	2.5	
	12.0	—	—	0.30	5.0	
	3.30	—	—	0.31	2.2	
	5.0	21.1	21.7	0.10	3.3	
13. Aug.	7.30	19.4	20.5	0.13	0.82	13. Aug. Heiteres Wetter.
	9.30	—	—	0.30	1.5	
	11.30	20.4	22.4	0.27	1.0	Am Gipfel das unterste Blatt welk und verdorben.
	4.45	21.2	22.1	0.20	1.6	
	5.45	21.2	22.1	0.10	1.0	
14. Aug.	8.30	19.1	20.7	0.10	0.72	Das zweituntere Blatt welk, alle Blätter etwas schlaff.
	10.30	19.9	21.6	0.25	0.5	
	12.0	20.4	22.2	0.20	1.4	
	3.30	21.2	22.5	0.20	0.6	Neu gegossen.
	4.45	21.2	21.7	0.12	0.6	
15. Aug.	8 Fr.	19.6	20.6	0.11	0.84	Alle Blätter deutlich welk, die beiden unteren verdorben.
	10.0	20.1	22.6	0.2	1.0	
	2.15	21.5	22.6	0.21	—	
				15.7CC.	200 CC.	Summe für die ganze Zeit berechnet.

III. Versuch. *Cucurbita Pepo.*

An einer im Topf erwachsenen, nicht starken Pflanze wurde 25. Juli 1869 Abends um 4 Uhr der Stengel in einiger Entfernung oberhalb der Erde durchschnitten, der Gipfel in Wasser gestellt und auf den Wurzelstumpf ein Ausflussrohr aufgesetzt. Anfangs wurden Luftblasen abgeschieden, seit 26. Juli 12 Uhr aber nicht mehr. Von da bis 28. Juli 8 Uhr früh, wurden 11,4 CC. Saft ausgeschieden, bei einer Temperatur der Erde im Topfe von 20,8—23,4° C.

Der abgeschnittene Gipfeltheil mit 13 ausgewachsenen Blättern hat von dem Augenblick des Abschneidens ab, in den ersten $7\frac{1}{2}$ Stunden nur 6 CC.

gesogen, und war dabei sehr stark gewelkt. Bis zum 28. Juli 8 Uhr früh blieb der Gipfel welk und sog dennoch 14 CC. auf. (Lufttemperatur 21,8—23,4° C.) Obgleich der Gipfel also fortwährend sehr welk war, sog er doch mehr Wasser auf, als vom Wurzelstumpf in der gleichen Zeit abgeschieden wurde.

IV. Versuch. *Helianthus annuus.*

Ein im Topfe erwachsenes Exemplar wurde am 26. Juli um 10 Uhr früh in einiger Entfernung über der Erde durchschnitten, der Gipfel in Wasser gestellt und auf den Wurzelstumpf ein Rohr gesetzt. Nach $6^1/_4$ Stunden war im Rohr das Wasser um 2,1 CC. vermehrt; der Gipfel hatte aber 9,5 CC. Wasser aufgesogen; dabei waren die Blätter gewelkt. Temperatur der Erde 20—22° C.; der Luft 18° C.

V. Versuch. *Helianthus annuus.*

Eine ähnliche Pflanze wurde in gleicher Weise behandelt:

Ausscheidung des Wurzelstumpfes in 4 Stunden bei 20° C. Bodentemperatur = 0,5 CC.

Aufsaugung des Gipfels in 4 Stunden bei 15° C. Lufttemperatur = 1,2 CC.

Dabei welkte der Gipfel ein wenig. (30. Juni 1869).

Die hier in Betracht kommenden Pflanzen, deren abgeschnittene und in Wasser gestellte Gipfel und Sprosse, bei normaler Verdunstung, bald zu welken anfangen, verhalten sich also in Bezug auf den Druck des Wassers im Innern der lebendigen Pflanze genau so, wie die übrigen Pflanzen: Während kräftiger Verdunstung herrscht in sämmtlichen Theilen der Pflanze bis in die Wurzel hinein ein negativer Druck, und erst einige Zeit nachdem durch das Abschneiden des Stengels die Verdunstung aufgehört hat, kann sich der positive, von der Wurzeln ausgehende Druck an Schnittflächen bemerklich machen. Die in Wasser gewelkten Sprossgipfel dieser Pflanzen können zwar durch positiven Druck wieder frisch gemacht werden; einmal wieder frisch geworden, brauchen sie aber, um turgescent zu bleiben, des positiven Druckes ebensowenig, wie die unverletzte Pflanze.

Beim Abschneiden von dem Wurzelsystem oder von dem Hauptstamme erfahren solche Sprossgipfel also eine Veränderung, deren Folge das Welken ist, und welche durch einen kurze Zeit dauernden, positiven Druck beseitigt werden kann. Aufgabe der folgenden Untersuchungen war es nun die Natur dieser Veränderung zu erforschen.

Meine Versuche wurden alle mit Helianthus tuberosus gemacht; viele aber nachträglich mit anderen Arten wiederholt, um über die Allgemeinheit ihrer Resultate ein Urtheil zu gewinnen. Wo keine Art genannt wird, ist immer H. tuberosus gemeint. Um mich im Folgenden kurz und deutlich ausdrücken zu können, will ich die Erscheinung des Welkens bei den abgeschnittenen Sprossen von Helianthus tuberosus etwas näher beschreiben. Schneidet man im Hochsommer einen etwa 20 Cm. langen Gipfel eines

Sprosses in der Luft ab, und stellt ihn dann mit der Schnittfläche in Wasser, so fangen schon in einigen Minuten die jüngsten entfalteten Blätter an zu welken. Ihnen folgen die nächstälteren und die ältesten Blätter, während die Endknospe mit allen ihren noch ganz oder fast ganz der Achse parallelen Blättern frisch bleibt; die äussersten Blätter dieser Knospe sind bis 10 Cm. lang, bisweilen sogar etwas länger. Später fängt auch die Endknospe an zu welken, dann erschlafft der Gipfel des Stengels unter ihr, und wenn etwa 5—10 Cm. von diesem ganz schlaff geworden sind, hört das weitere Erschlaffen und Zusammenfallen auf, und tritt durch weiteren Wasserverlust Vertrocknung ein. Nicht selten ist dieses letzte Stadium des Welkens schon innerhalb einer bis zweier Stunden erreicht.

Die Stelle, wo man den Schnitt führt, mit anderen Worten, das Alter des Sprosses an der durchschnittenen Stelle, hat einen grossen Einfluss auf die Geschwindigkeit des Welkens. Abgeschnittene Sprosse von 2 Meter Länge und mehr, sah ich gewöhnlich, nachdem sie mit der Schnittfläche in Wasser gestellt waren, mehrere Tage hindurch frisch bleiben. Schnitt ich Sprosse in einer Entfernung von 40—60 Cm. von der Spitze ab, und stellte ich sie ebenso in Wasser, so blieben sie mehrere Stunden hindurch frisch, ehe sie anfingen zu welken; während bei einer Länge des abgeschnittenen Gipfels von 10—20 Cm. das Welken gleich nach dem Einsetzen in das Wasser anfängt. Schneidet man zu kleine Sprossenden ab, so besitzen diese keine hinreichende Anzahl von Blättern, um durch ihre Verdunstung das Welken herbei zu führen.

Um die Erscheinung des Welkens beobachten zu können, muss man also weder zu kleine, noch zu grosse Sprossgipfel abschneiden, sondern den Schnitt an einer kräftig wachsenden, noch nicht verholzten Stelle führen und auch für eine genügende Anzahl Blätter an dem Sprossgipfel sorgen. In den folgenden Versuchen ist diesen beiden Bedingungen immer genügt, wenn nicht das Gegentheil angegeben wird. Der Grad der Verholzung hängt zwar hauptsächlich von dem Alter der betrachteten Stelle, aber auch von anderen Umständen ab, und wird also nicht immer einfach durch die Entfernung von der Spitze des Sprosses gemessen. Ganz verholzte Stengel zeigen die hier betrachtete Erscheinung nicht mehr.

Bei Sprossenden von Helianthus tuberosus, deren Länge ungefähr 30 Cm. war, gelang es mir in vielen Versuchen niemals, das Welken dadurch zum Aufhören zu bringen, dass ich das Wasser mittelst eines Druckes von 10—20 Cm. Quecksilber in den Spross hineinführte. Erst als ich einen Druck von 40—45 Cm. anwandte, gelang es mir einen solchen anfangs welken Sprossgipfel wieder turgescent zu machen. Machte ich aber an einem ähnlichen und gleichaltrigen Sprosse den Schnitt 1,5 Meter unter dem Gipfel, so reichte ein Quecksilberdruck von 20 Cm. vollkommen aus, um die in Wasser nur wenig gewelkte Spitze bald wieder frisch zu machen.

In den von Sachs gemachten und den bisher mitgetheilten Versuchen wurde der Schnitt immer in der Luft gemacht; es fand also immer eine Unterbrechung der Wasserleitung im Stengel statt. Um den Einfluss dieses Umstandes zu untersuchen, bog ich lange Sprosse von Helianthus, ohne sie von der Pflanze zu trennen, und ohne sie zu knicken, so herab, dass eine 20 Cm. von dem Gipfel entfernte Stelle in das Wasser eines untergestellten Gefässes tauchte, der Gipfel aber selbst, sammt allen Blättern, in der Luft blieb. Jetzt schnitt ich mit sehr scharfem Messer den Gipfel unter Wasser ab, so dass die Schnittfläche auch keinen Augenblick mit der Luft in Berührung kam und keine Unterbrechung in der Zuleitung des Wassers stattfand. Diese so von der Pflanze getrennten Sprossgipfel blieben mehrere Tage hindurch turgescent. Ich habe diesen Versuch mit vielen Sprossen von Helianthus wiederholt und immer das nämliche Resultat erhalten, wenn nur bei dem Durchschneiden keine Verletzung des an der Schnittfläche grenzenden Theiles des Stengels (wie z. B. durch Knickung) stattgefunden hatte.

Die Unterbrechung der Wasserleitung während des Abschneidens in der Luft ist also wahrscheinlich die Ursache des Welkens. Es fragt sich deshalb zunächst, wie die Sache sich verhalten wird, wenn der Schnitt in der Luft gemacht wird, während die Wasserströmung in der Pflanze still steht, oder doch eine sehr geringe ist.

Ich bog von grossen Sprossen von Helianthus, ohne sie von der Pflanze zu trennen, die Gipfel senkrecht abwärts und tauchte diese mit einer beträchtlichen Anzahl von Blättern unter Wasser. Nach einigen Minuten schnitt ich den Stengel in der Luft durch, tauchte die Schnittfläche nach 10 Secunden unter Wasser, hob die Blätter daraus hervor und trocknete diese ein Wenig ab. So bereitete ich mir vier, je 20 Cm. lange Gipfel vor. Die ersten 24 Stunden nach dem Versuche blieben alle ganz turgescent: später fingen sie an zu welken, und nach abermals 24 Stunden waren sie schon deutlich, wenn auch noch nicht vollkommen welk. Ich wiederholte den Versuch mit vier andern, gleichlangen Sprossgipfeln, welche ich aber vor dem Abschneiden $1\frac{1}{2}$ Stunde im Wasser untergetaucht liess, damit sie ihre volle Turgescenz annähmen, und so die Strömung des Wassers im Stengel noch mehr reducirt werden würde; die in der Luft befindlichen Blätter dieser Sprosse schnitt ich vor Anfang des Versuches alle ab. Hier war das Welken noch langsamer: nach 48 Stunden hatten drei Exemplare je nur ein welkes Blatt (das vierte Exemplar war schon ganz welk). Noch 24 Stunden später welkten auch diese drei Sprosse, doch war auch jetzt noch in einem die Endknospe frisch, später verwelkte Alles.

Je geringer also die Wasserströmung in dem zu durchschneidenden Stengeltheile, desto langsamer das Welken der Sprosse.

Die Dauer der Berührung der Schnittfläche eines in der Luft durchschnittenen Sprosses mit der Luft muss demzufolge bei unverminderter

Verdunstung der Blätter einen Einfluss auf die Geschwindigkeit des Welkens haben. Folgender Versuch bestätigt dieses.

Es wurden Sprosse von Helianthus an der Pflanze heruntergebogen und ihre Spitze kurz über einer Wasserfläche in einem starken, nach oben concaven Bogen gebogen. Das Wasser berührte den Stengel nicht. Jetzt wurde der Stengel in der Krümmung mit einem sehr scharfen, trockenen Messer in der Luft durchschnitten; der abgeschnittene Theil schlug vermöge seiner Elasticität augenblicklich in's Wasser hinein. Die Dauer der Berührung der Schnittfläche mit der Luft war vielleicht nur $^1/_{10}$ Secunde. Die vier so vorbereiteten Sprossgipfel, je 10 Cm. lang, blieben während 24 Stunden frisch, nur an einem waren nach dieser Zeit ein Paar welke Blätter. Dann fingen sie langsam an zu welken, nach 12 Stunden hatten sie je 3—5 welke Blätter, noch 48 Stunden später waren alle Blätter welk, die Endknospen aber (mit bis 12 Cm. langen äussersten Blättern) noch ganz frisch.

Ich stellte sechs in der Luft abgeschnittene, je 20 Cm. lange Sprossgipfel sogleich in's Wasser, sie hatten schon hinreichend Holz gebildet, um hierin frisch zu bleiben. Nach 24 Stunden nahm ich sie aus dem Wasser heraus, trocknete ihre Schnittfläche ab und liess drei von ihnen $^3/_4$ Stunde, die drei anderen $1^1/_2$ Stunde in der Luft liegen; hier welkten sie, und als sie später wieder in's Wasser gestellt wurden, wurden sie nicht wieder frisch. Dieses zeigt, dass in älteren durchschnittenen Stellen eine längere Zeit der Berührung mit der Luft zum Hervorrufen des Welkens nothwendig ist als in jüngeren.

Hat man einen frischen Spross in Wasser stehen, so darf man weder seine Schnittfläche mit der Luft in Berührung bringen, noch einen neuen Schnitt in der Luft machen, wenn der Spross nicht welken soll. Wohl aber darf man ihn aus dem Wasser herausheben und in ein anderes Wassergefäss stellen, wenn nur ein Tropfen Wasser an der Schnittfläche hängen bleibt. Diesen letzteren Versuch habe ich zahllose Male, auch mit vielen anderen Arten, gemacht, und niemals hat ein Spross demzufolge gewelkt. Ich mache die Querschnitte zu dem Zwecke rechtwinklig auf die Achse des Stengels.

Aus allen diesen Versuchen darf man schliessen, dass eine Unterbrechung der Leitung des Wassers in dem Stengel, während die Blätter Wasser saugen, eine Aenderung im Stengel verursacht, deren sichtbare Folge das Welken der Blätter und des Sprossgipfels ist. Je jünger die Strecke des Sprosses, wo der Schnitt gemacht wird, je stärker die Saugung der Blätter, und je länger die Dauer der Unterbrechung ist, desto stärker und schneller ist das Welken.

Die Annahme, dass diese Veränderung im Stengel eine Verminderung seiner Leitungsfähigkeit für das Wasser ist, liegt auf der Hand und lässt sich durch folgenden Versuch leicht beweisen.

Zwei Sprossgipfel von Helianthus wurden in der Luft abgeschnitten und in Wasser gestellt. Der eine war 40 Cm. lang und hatte 16 Blätter, der andere war 20 Cm. lang und hatte 12 Blätter. Nach kurzer Zeit fingen sie an zu welken, aber langsam. Nach 12 Stunden war der erstere ganz welk, mit einer 7 Cm. langen welken Strecke des Stengels, in dem andern waren die Endknospe und alle Blätter welk. Jetzt entfernte ich die 12 ältesten Blätter des einen und die 6 ältesten Blätter des anderen Sprosses, ohne sonst was zu verändern. Demzufolge wurden sie beide wieder frisch und blieben dann mehrere Tage hindurch turgescent. Das für den Turgor und die Verdunstung von 4 resp. 6 Blättern nöthige Wasser konnte also durch den Stengel geleitet werden, das für alle Blätter nöthige aber nicht. Entfernt man an in der Luft durchschnittenen Sprossen vor dem Welken einige Blätter, so können diese Sprosse ganz frisch bleiben; vertrocknen an einem welkenden Sprosse die älteren Blätter, ehe die Endknospe zu welken anfängt, so kann diese letztere noch lange frisch bleiben.

Die Leitungsfähigkeit wird nicht im ganzen Stengel verändert, sondern nur in einer grösseren oder kleineren Strecke oberhalb der Schnittfläche. Dieses folgt daraus, dass, als ich von in der Luft abgeschnittenen und demzufolge im Wasser welkenden Sprossen eine 5—6 Cm. lange Strecke oberhalb des ersten Schnittes durch einen neuen, jetzt aber unter Wasser geführten Schnitt, entfernte, die Sprosse sich wieder erholten und völlig turgescent wurden. Ich habe diesen Versuch mit Sprossen von 10—20 Cm. Länge und mit solchen von 50 Cm. und mehr mehrfach wiederholt, den neuen Schnitt entweder einige Stunden nach dem ersteren, oder bei nicht sehr raschem Welken bis drei Tage nachher gemacht und immer das nämliche Resultat erhalten. Schnitt ich vor dem Eintreten des Welkens an einem in der Luft abgeschnittenen Sprosse unter Wasser eine 5—6 Cm. lange Strecke weg, so unterblieb das Welken immer. Um nicht mit dieser Strecke Blätter mit zu entfernen und dadurch zugleich eine andere Ursache der Wiederherstellung des Turgors, nämlich die Verminderung der Verdunstung herbeizuführen, entfernte ich in diesen Versuchen die betreffenden Blätter immer vor Anfang des ganzen Versuchs.

Den nämlichen Versuch habe ich mit einer Anzahl von andern Arten wiederholt, indem ich 20 Cm. lange Gipfel grossblättriger Sprosse in der Luft abschnitt, sie nach 30 Secunden in Wasser setzte, sie anfangen liess zu welken, und als dieses sehr deutlich eingetreten war, unter Wasser eine 5—6 Cm. lange Strecke entfernte. Sie wurden demzufolge alle wieder frisch und blieben dieses mehrere Tage hindurch. Ich untersuchte Impatiens Roylii, Sambucus nigra, Broussonetia papyrifera, Staphylea pinnata, Xanthium echinatum, Helianthus tracheliifolius, Siegesbeckia cordifolia u. A.

Ich habe diesen Versuch auch so gemacht, dass ich den neuen Schnitt in der Luft machte, während die sämmtlichen Blätter unter Wasser waren,

und schon einige Minuten vorher im Wasser gewesen waren. Tauchte ich dann die neue Schnittfläche nach Entfernung einer Strecke von 5—6 Cm. in's Wasser und hob die Blätter daraus hervor, so erholten sich die Sprosse, diejenigen von Helianthus tuberosus fingen aber nach einiger Zeit wieder an zu welken, während die anderer Arten mehrere Tage hindurch frisch blieben. So z. B. Xanthium echinatum, Siegesbeckia cordifolia.

Ueber die Grösse der Strecke, welche diese Veränderung erleidet, habe ich nur ein paar Versuche angestellt. Aus dem Vorhergehenden ersieht man, dass sie in den meisten Fällen nicht 5—6 Cm. beträgt. Vier je 15 Cm. lange Sprossgipfel wurden in der Luft abgeschnitten und nach 10 Secunden in Wasser gestellt, wo sie anfingen zu welken. Als sie nach einer Stunde sehr welk waren, wurde unter Wasser eine neue Schnittfläche gemacht, indem nur eine 1 Cm. lange Strecke des Stengels entfernt wurde. Die Sprosse welkten immer weiter. Nach mehreren Stunden wurde nochmals ein neuer Schnitt unter Wasser gemacht, jetzt aber 6 Cm. des Stengels entfernt. Demzufolge erholten sich die Sprosse, innerhalb 6 Stunden waren die Endknospen, innerhalb 24 Stunden die meisten Blätter wieder frisch. Das nämliche Resultat gab mir bei völlig gleicher Untersuchung Siegesbeckia cordifolia. Die so turgescent gewordenen Sprosse blieben dieses mehrere Tage hindurch. Es war natürlich auch hier vorher gesorgt, dass bei der Entfernung der unteren Strecke des Stengels keine Blätter mit entfernt werden konnten.

Wahrscheinlich ist die veränderte Strecke desto grösser und ihre Veränderung eine desto stärkere, als das Welken der Blätter rascher und stärker ist.

Die Verminderung der Leitungsfähigkeit, welche nach dem Vorhergehenden bei grossblättrigen Sprossen, deren Holzkörper noch nicht hinreichend entwickelt ist, in einer grösseren oder kleineren Strecke des Stengels oberhalb eines künstlichen Querschnittes eintritt, wenn durch den Schnitt eine Unterbrechung in der Zufuhr des Wassers herbeigeführt wird, während die Blätter und der obere Theil des Sprosses Wasser saugen, kann man sich auf folgende Weise entstanden denken. Durch das Aufhören der Wasserzufuhr verlieren zunächst die vom Schnitt getroffenen Zellen einen Theil ihres Wassers, das von den höher liegenden Zellen aufgesogen und nicht ersetzt wird. Bald verlieren auch die nächsthöheren Zellen, welche das Wasser leiten müssen, aus derselben Ursache von ihrem Wasser. Wird nun der Stengel mit der Schnittfläche in Wasser gestellt, so nehmen diese Zellen zwar wieder Wasser auf, man muss aber annehmen, dass sie unter diesen Umständen ihren Verlust nicht völlig ersetzen können, das heisst, ihren normalen Gehalt an Wasser nicht wieder erreichen können. Nimmt man nun weiter an, dass von dem Wassergehalt dieser Zellen die Geschwindigkeit der Wasserleitung abhängt, so sind

diese beiden Annahmen im Stande die Verminderung der Leitungsfähigkeit vorläufig zu erklären.

Ich will jetzt noch einige Versuche mittheilen, welche ich über die Frage gemacht habe, durch welche äusseren Umstände die verminderte Leitungsfähigkeit wieder auf das normale Maass zurückgeführt werden kann.

Erstens ist hier an die schon anfangs erwähnten Versuche von Sachs zu erinnern, aus denen hervorgeht, dass die welken Sprosse nicht nur durch Hineinpressen des Wassers unter Druck wieder frisch werden, dass also die Leitung des Wassers im Stengel unter Druck eine raschere ist, sondern dass dadurch auch die Leitungsfähigkeit des Stengels wieder auf das normale Maass gebracht wird und darauf auch nach dem Aufhören des Druckes bleibt.

Drei je 30 Cm. lange Sprossenden von Helianthus wurden in der Luft abgeschnitten und in Wasser gestellt; sie waren innerhalb einer Stunde welk. Nachdem sie noch zwei Stunden weiter gewelkt hatten, wurden sie, ohne Erneuerung ihrer Schnittfläche in Wasser von 35° C. gestellt und blieben hierin einige Stunden bis die frei in der Luft sich ausbreitenden Blätter wieder frisch geworden waren. Die Temperatur des Wassers blieb constant zwischen 35° und 40° C.; ein 10 Cm. langer Theil jedes Stengels ragte in das warme Wasser hinein. Dann wurden sie in kaltes Wasser gesetzt; nach 12 Stunden war ein Exemplar noch ganz frisch, die zwei andern hatten je zwei welke Blätter; noch 12 Stunden später hatten sie alle drei einige welke Blätter. Die Leitungsfähigkeit im erwärmten Theile war also, wenn auch nicht vollkommen wiederhergestellt, so doch bedeutend erhöht worden.

In der Luft abgeschnittene und in Wasser gestellte, 20 Cm. lange Sprossgipfel von Sambucus nigra welkten sehr stark binnen einer Stunde; dann stellte ich sie mit dem unteren Ende in Wasser von 35° C., wo sie in einer bis zwei Stunden turgescent wurden. Jetzt in kaltes Wasser gestellt, blieben sie während mehrerer Tage vollkommen frisch. Während des Versuchs wurde die Schnittfläche nicht erneuert.

Drei 12 Cm. lange, in der Luft abgeschnittene und in Wasser gesetzte Sprossenden von Helianthus fingen bald an zu welken und wurden nach einer Stunde in welkem Zustand völlig unter Wasser getaucht. Auch die Schnittflächen waren unter Wasser. Als sie innerhalb 10 Minuten frisch geworden waren, wurden die Blätter aus dem Wasser genommen und etwas abgetrocknet; die Schnittflächen blieben im Wasser. Nach einer Stunde waren je 2—3 Blätter welk, nach 4 Stunden nur die Endknospen noch frisch und 12 Stunden später waren auch diese welk. Von andern ähnlichen Exemplaren, an denen aber, nach dem Aufenthalte im Wasser eine neue Schnittfläche in der Luft gemacht war, während die Blätter noch unter Wasser waren, die sonst aber vollkommen gleich behandelt waren, waren nach 16 Stunden noch keine, nach 24 Stunden nur 1—2 Blätter

welk. Aehnliche Versuche stellte ich mit demselben Resultate mit 16 Cm. langen Sprossenden von Xanthium echinatum an.

Eine grössere Anzahl je 10 Cm. lange Sprossspitzen von Helianthus waren in der Luft abgeschnitten und sogleich in Wasser gesetzt, wo sie bald anfingen zu welken. Jetzt wurde eine Glasglocke übergestülpt, wodurch die Verdunstung bald aufhörte und sämmtliche Blätter wieder frisch wurden. Nach 14 Stunden wurde die Glasglocke entfernt; 12 Stunden später waren die meisten Blätter welk, aber die Endknospen noch frisch; später wurden alle Blätter welk, und bald darauf fingen auch einige Endknospen an zu welken.

Wenn diese beiden Versuche zeigen, dass bei gewöhnlicher Temperatur auch unter Umständen, welche der Aufnahme des Wassers im Stengel sehr günstig sind, dennoch die normale Leitungsfähigkeit nicht wieder erreicht wird, so scheinen sie doch Grund für die Vermuthung zu geben, dass eine geringe Vergrösserung der Leitungsfähigkeit stattgefunden hatte, da die Sprossgipfel zum zweiten Male langsamer welkten als zum ersten Male. Für diese Vermuthung sprechen auch die beiden folgenden Beobachtungen.

Einige 6—12 Cm. lange Sprossenden von Helianthus wurden in der Luft abgeschnitten und in Wasser gesetzt, nachdem soviele Blätter entfernt waren, dass an jedem ausser der Endknospe nur die drei jüngsten Blätter blieben. Bald welkten je 1—2 dieser Blätter, nach einigen Stunden erholten sie sich aber wieder und blieben mehrere Tage hindurch frisch.

In der Luft abgeschnittene und in Wasser gestellte, 10 Cm. lange Sprossgipfel von Sida Napaea fingen bald an zu welken. Nach mehreren Stunden waren sie, ohne dass die Schnittfläche erneuert worden war, wieder turgescent geworden und blieben mehrere Tage hindurch in diesem Zustande.

Die genauere Erkenntniss der Abhängigkeit der Verminderung der Leitungsfähigkeit von verschiedenen Umständen, und die Entdeckung ihrer wahren Ursache muss späteren Untersuchungen vorbehalten bleiben. Nach dem Vorhergehenden darf man aber die Hoffnung hegen, dass das nähere Studium der hier behandelten Erscheinung dazu führen wird, auf die bei der Wasserleitung im Pflanzenkörper stattfindenden Verhältnisse ein neues Licht zu werfen.

November 1871.

Nachtrag.

Nachdem das Manuscript der vorliegenden Abhandlung schon längst dem Herausgeber übergeben worden war, erschien eine Arbeit von Dr. N. J. C. Müller über »Beziehungen zwischen Verdunstung, Gewebespannung

und Druck im Inneren der Pflanze«.[1]) Da die Thatsache, dass abgeschnittene, in Wasser gestellte Sprosse von Helianthus annuus welken und nach Müller's Ansicht nur durch dauernden Druck daran verhindert werden können, eine Hauptstütze der dort vertretenen Ansichten ist, und diese Ansichten überhaupt mit der herrschenden Auffassung im Widerspruch stehen, halte ich es für meine Pflicht die Erörterungen Müller's hier nachträglich zu besprechen.

Auf den beiden ersten Seiten dieser Abhandlung werden einige falsche, theilweise veraltete, theilweise niemals ausgesprochene Ansichten über die Bewegung des Wassers in der Pflanze als die herrschende Auffassung hingestellt. So sollen die Resultate der Hales'schen und Hofmeister'schen Versuche über den Wurzeldruck, welche bei Ausschluss der Verdunstung gemacht wurden, von den früheren Schriftstellern ohne Weiteres auf die verdunstenden Pflanzen übertragen worden sein, ja Müller behauptet sogar, »dass der Hales'sche Druck als Motor genannt wird für die Bewegung der Wassermassen in dem 200 Fuss hohen Baum«. Wo Herr Müller in der botanischen Literatur diese Ansichten gefunden hat, ist mir nicht bekannt, da die erforderlichen Literaturangaben für diese Behauptungen fehlen. Eine historische Untersuchung der Frage liegt auch nicht in meiner Absicht, da es vielmehr Herrn Müller's Pflicht wäre, selbst durch eine solche, mit den nöthigen Citaten ausgestattete Behandlung des Thema's das wirkliche Vorhanden- und Verbreitetsein der von ihm als solche angegebenen Ansichten zu beweisen.

Ich halte mich an die letzte, etwa zwei Jahre vor Müller's Arbeit erschienene Darstellung der hierher gehörigen Erscheinungen, welche von Sachs in der zweiten Auflage des Lehrbuchs der Botanik, S. 572—580 gegeben wurde. Die verschiedenen Vorgänge der Wasserbewegung, welche von Müller in seiner Arbeit fortwährend mit einander vermischt und verwirrt werden, sind hier klar und deutlich von einander getrennt und in ihren Beziehung zu den verschiedenen wirkenden Ursachen dargethan. Sachs unterscheidet (man sehe z. B. S. 577.) 1) »die langsamen Bewegungen des Wassers, wodurch dieses den assimilirenden und den wachsenden Zellen und Gewebemassen zugeführt wird«, 2) »die durch Verdunstung angeregte, meist raschere Wasserströmung im Holzkörper« und 3) »den Auftrieb des Wassers aus der Wurzel in den Stamm«. Jede dieser drei Arten der Bewegung des Wassers tritt unter Umständen von den Andern gesondert in die Erscheinung, meistens aber wirken sie zu gleicher Zeit in der nämlichen Pflanze, wobei aber die zweite fast ausnahmslos bei weitem die ausgiebigste ist. Die Natur dieser verschiedenen Bewegungen, die Gewebe, in denen sie stattfinden und die zu ihrer Erklärung zu benutzenden physi-

1) Botanische Untersuchungen von Dr. N. J. C. Müller 1872 Heft II. S. 21—55.

kalischen Erscheinungen werden dargelegt und dadurch eine Einsicht, so weit unsere physikalischen Kenntnisse diese eben erlauben, angebahnt.

Dieser Darstellung gegenüber erscheint nun die MÜLLER'sche Arbeit nicht nur als überflüssig, sondern sogar als ein bedeutender Rückschritt. Für die Bewegungen des Wassers in hohen Bäumen, sagt MÜLLER (S. 22), könne man sich a priori zwei mögliche Ursachen denken: den Wurzeldruck und die Imbibition. Da nun der Wurzeldruck offenbar nicht für die ganze Erhebung des Wassers ausreicht, meint MÜLLER, dass die Imbibition allein den Wasserverlust deckt. Diese Folgerung wurde aber schon von HALES (siehe SACHS, Handbuch, S. 213.) ausgesprochen. Wenn nun abgeschnittene belaubte Aeste von Bäumen und Sträuchern, in Wasser gestellt, frisch bleiben, reiche bei diesen Arten die Imbibition zur Erklärung der Erscheinung hin. Bei Helianthus-Zweigen aber, welche abgeschnitten und in Wasser gestellt welken, reiche die Saugung nicht hin, den Wasserverlust zu decken, es müsse hier also ein Wurzeldruck mitwirken. Diese Ansicht wurde schon von SACHS, l. c. ausgesprochen, die Fortsetzung der von SACHS an jener Stelle beschriebenen Versuche führte diesen aber zu der Ansicht, dass die Folgerung nicht richtig sei; diese fortgesetzten Untersuchungen bildeten, wie im Anfang vorliegenden Aufsatzes hervorgehoben wurde, den Ausgangspunkt für meine eigenen Untersuchungen.

MÜLLER aber, der, ohne SACHS zu citiren, die Folgerung als seine eigene hinstellt, betrachtet sie als richtig und geht bei seinen folgenden Untersuchungen von ihr aus. Merkwürdig ist es dabei zu bemerken, dass MÜLLER's eigene, in seiner Arbeit mitgetheilten Versuche die Unrichtigkeit der Behauptung zeigen: Auf Seite 38 giebt er an, dass ein Blatt von Helianthus annuus bei einem von —24 bis —130 Mm. Quecksilber fallenden Drucke während mehrerer Stunden turgescent bleibt; auf S. 44, dass Helianthus in normaler Weise lange Zeit unter negativem Druck von bis 100 Mm. Quecksilber verdunstete. Wie stimmen diese Beobachtungen zu dem Seite 24 gezogenen Schlusse: dass ein Wurzeldruck bei solchen saftreichen Krautpflanzen nöthig ist, um das Welken zu vermeiden?

Die angebliche Thatsache, dass das in den Blättern hoher Bäume verdunstende Wasser durch die Imbibition herbeigeschafft werden kann, dass aber niedere Krautpflanzen den Wurzeldruck für eine normale Verdunstung brauchen, sucht nun MÜLLER durch die ganz unbegründete Annahme zu erklären, dass die Verdunstungsgrösse der Blätter hoher Bäume gegenüber der Krautpflanze sehr klein sei. Die von SACHS, l. c. nachgewiesene Beziehung zwischen der Verdunstung und der Entwickelung des Holzes und einige andere Umstände machen es im Gegentheil sehr wahrscheinlich, dass grade bei hohen Bäumen die Verdunstung der Blätter eine sehr namhafte ist: Auch die von MÜLLER selbst citirte Paulownia und andere grossblättrige Bäume, machen diese Annahme MÜLLER's wenigstens sehr unwahrscheinlich.

Es wäre aber nutzlos weiter hierauf einzugehen, oder auch eine Kritik

der S. 25—27 geführten Discussion über die Möglichkeit einer Messung des bei Krautpflanzen angeblich für normale Verdunstung nöthigen Wurzeldruckes zu liefern, nachdem die im Anfang meiner Arbeit mitgetheilten Versuche von Sachs die Existenz einer kräftigen Saugung frisch decapitirter Wurzelstöcke, also eines negativen Druckes, auch für diese Fälle ausser Zweifel gesetzt haben.

Die von Müller citirten Experimente von Hales und Hofmeister über die bei der Imbibition von Wasser in lebendige Gewebe beobachteten Druckkräfte haben, wie sich aus ihrer Beschreibung leicht ergiebt, keineswegs den höchsten Druck bestimmt, unter denen noch Quellung unter Aufnahme von Wasser stattfinden kann. Sie haben nur gezeigt, dass dieser Druck zwei Atmosphären erreichen oder sogar überschreiten kann. Dass die Kraft der Imbibition wahrscheinlich viel grösser (sogar grösser als 5—6 Atmosphären) sei, wurde von Sachs, l. c. S. 578, hervorgehoben, der darauf hinwies, dass »trockene Stärkekörner sich, wenn sie Wasser von gleicher Temperatur imbibiren, um 2—3° C. erwärmen; (siedendes) Wasser durch einen Druck von 10 Atm. nur um 0,078° C. erwärmt wird. Da nun die Erwärmung durch Imbibition wahrscheinlich auf Verdichtung des Wassers beruht, so erlauben diese Angaben einen Schluss auf die enorme Kraft der Imbibition«. Müller, der dieser Stelle ebensowenig wie sonstiger, richtiger Ansichten seiner Vorgänger erwähnt, meint, dass die Imbibitionskräfte »eher 30 als 20, eher 40 als 30 Atmosphären gleichkommen«. Ob er dieses aus eigenen oder Anderer Experimenten folgert, bleibt unbekannt, da die Angabe der Quelle fehlt.[1]) Wenn nun auch diese Behauptung an sich nicht unwahrscheinlich ist, so nützt sie doch wenig, wenn keine Thatsachen zu ihrer Unterstützung mitgetheilt werden.

Um nicht zu viele Einzelheiten aus Müller's Arbeiten zu besprechen, komme ich gleich zum Schlusse dieses Capitels, wo in folgenden zwei Sätzen das Resultat zusammengefasst wird: (S. 31.) »Das Wachsen der Knospen wird also viel eher mit den Quellungserscheinungen und den osmotischen Spannungen der Zellinhalte, wie mit den Wurzeldrucken in Causalzusammenhang stehen. Die Drucke der Zellinhalte wachsender Zellen auf ihre Wand in der Nähe der Vegetationspunkte werden ganz unabhängig vom Wurzeldruck sein, was für sehr hohe Pflanzen, Bäume nicht erst zu beweisen war«. In diesen beiden Sätzen sind wieder die einzelnen, bei Sachs, l. c., richtig von einander getrennten Erscheinungen mit einander verwirrt. Dass das Wachsen der Knospen ohne den Einfluss des Wurzeldrucks vor sich gehen kann, und in gewöhnlichen Fällen ohne diesen vor sich geht, ist Jedem bekannt, und daraus zu folgern, dass durch die Ver-

1) Das von Müller in dieser Richtung angestellte Experiment Nr. 19 befindet sich auf S. 52. Leider ist aber nur die Methode des Experiments beschrieben und die Grösse der benutzten Gewichte angegeben; was aber die Folge war, wird nicht mitgetheilt.

dunstung immer ein negativer Druck herbeigeführt wird. [1]) Ob aber das Wachsen und die Drucke der Zellinhalte wachsender Zellen auf ihre Wand in der Nähe der Vegetationspunkte vom Wurzeldruck, wenn dieser da ist, unabhängig sind, darüber können nur directe Versuche entscheiden.

Auch die Beschreibung der Bewegung des Wassers im Baum (S. 31—35) ist nur eine unklare Darstellung der Vorgänge im Stamme, welche schon von Sachs, l. c., auseinandergesetzt sind. Die von ihm hervorgehobene bedeutende Leitungsfähigkeit des lebendigen Holzes, gegenüber der geringen Leitungsfähigkeit des todten Holzes wird hier nicht berücksichtigt; die Berücksichtigung dieses Verhältnisses hätte aber zu einer Erklärung der Thatsache führen können, dass abgeschnittene und mit der Schnittfläche in Wasser gestellte Birkenstämme nur 6—8 Tage hindurch frisch bleiben, dann aber welken.

Ueber die Müller'schen Versuche selbst wäre noch Manches zu bemerken, da sie aber fast nur Wiederholungen allgemein bekannter Versuche sind, oder doch keine neuen Thatsachen gebracht haben, unterlasse ich es näher auf sie einzugehen.

Meiner Meinung nach sind also die von Müller besprochenen Thatsachen theils längst bekannt, theils unrichtig und ist seine unklare Darstellung ihres Zusammenhanges bei dem jetzigen Zustande unserer Wissenschaft, zumal nach der vor zwei Jahren von Sachs gelieferten Darlegung als ein entschiedener Rückschritt zu betrachten.

---

1) Beispiele wachsender Pflanzentheile, in denen auch ohne starke Verdunstung offenbar kein positiver Druck herrscht, findet man bei Sachs, l. c. S. 577.

IX.

Längenwachsthum der Ober- und Unterseite sich krümmender Ranken.

Von

Dr. Hugo de Vries.

Nach den eingehenden Untersuchungen von Sachs über das Längenwachsthum, kann es keinem Zweifel unterliegen, dass das Umwinden von Stützen durch Ranken und die Einrollung freier Ranken Bewegungserscheinungen sind, welche durch ein verschiedenes Längenwachsthum der convexen und der concaven Seite verursacht werden. In der vorliegenden Arbeit gehe ich von dieser Ansicht aus; die mitzutheilenden Thatsachen und Zahlen bestätigen sie ausnahmslos. Ferner ist es klar, dass bei dergleichen Krümmungen das Wachsthum auf der convexen Seite stärker ist als auf der concaven; es ist aber noch die Frage zu beantworten, wie sich bei diesen Krümmungen das Wachsthum beider Seiten verhält zu dem Wachsthum derselben Gewebeschichten bei normalem geradem Wuchse. Diese Frage ist derjenigen vollkommen analog, welche sich Sachs in Bezug auf das Längenwachsthum der Ober- und Unterseite horizontal gelegter, sich aufwärtskrümmender Sprosse[1]) stellte. Wie aus dieser Analogie zu erwarten war, wird bei diesen Krümmungen das Wachsthum auf der convexen Seite absolut beschleunigt, dasjenige der concaven Seite absolut verlangsamt; ja bei geringem Totalwachsthum der Ranke wird die concave Seite verkürzt, ähnlich wie dieses von Sachs bei den sich geotropisch krümmenden Grasknoten beobachtet wurde.

Ehe ich zu der Mittheilung der Versuche übergehe, aus denen ich diesen Schluss ziehe, will ich einiges beiläufig Beobachtetes über die Wirkung des Reizes vorausschicken.

1) Im II. Hefte dieser Arbeiten, S. 192.

Die Reizbarkeit fängt mit wenigen Ausnahmen (Cobaea, Passiflora punctata) ungefähr zu gleicher Zeit mit der Nutation an, wie dieses von DARWIN in seiner vorzüglichen Abhandlung über die Bewegungen der Schlingpflanzen[1]) gezeigt wurde. Sie dauert nach demselben Forscher (mit Ausnahme von Echinocystis) bis zur Vollendung des Längenwachsthums der Ranke. Dann bleibt die Ranke, wenn sie keine Stütze gefasst hat, einige Zeit, oft einige Tage unbeweglich (DARWIN, S. 93) und rollt sich später in einer flachen Spirale (Cardiospermum und einige Andere) oder, was der gewöhnliche Fall ist, in einer Schraubenlinie zusammen; wobei, wie zuerst von MOHL[2]) gezeigt wurde, immer die Oberseite zur convexen Seite wird. Dass bei dem freiwilligen Einrollen und bei dem Umwinden einer Stütze die Windungen nicht spiralig, sondern schraubig sind, rührt einfach davon her, dass die Durchmesser der einzelnen Windungen, welche von der Wachsthumsdifferenz der Ober- und Unterseite abhängen, nicht hinreichend verschieden sind, um die eine Windung in der anderen Raum finden zu lassen. Sollte eine Windung auf der Aussenseite einer früheren, also mit dieser eine ebene Spirale bildend, entstehen, so wird sie sich bei nicht vollkommen symmetrischer Lage bei ihrem Zusammenziehen auf die Seite der früheren Windung stellen. Diese freiwillige Krümmung unterscheidet sich bei den meisten Rankenpflanzen von der durch Reiz veranlassten dadurch, dass sie an der Spitze anfängt und nach der Basis der Ranke hin fortschreitet, während bei den durch Berührung mit einer Stütze hervorgerufenen Biegungen, die Krümmung an der berührten Stelle anfängt. Sie ist von jedem Reize ganz unabhängig und ist eins der extremsten Beispiele aus der Gruppe der epinastischen Krümmungen.

Die meisten Ranken sind nur auf der Unterseite, oder auf dieser und den beiden Kanten reizbar, die Ranken von Cissus und Cobaea dagegen sind nach DARWIN (S. 100) auf allen Seiten reizbar.

Der Einfluss dieser Reize ist ein mehrfacher. Erstens fördern sie das Längenwachsthum der freien Seite in Bezug zu dem der berührten Seite, wodurch die Krümmung an den Berührungspunkten entsteht. Dann aber veranlassen sie ein früheres spiraliges Zusammenziehen des nicht berührten Theils der Ranken, als ohne die Reizung eingetreten sein würde (DARWIN, S. 93); bei einigen Arten von Rankenpflanzen tritt dieses spiralige Einrollen nur dann ein, wenn die Ranke sich an eine Stütze befestigt hat (so z. B. Ampelopsis hederacea). Auch auf das Dickenwachsthum und die Lebensdauer der Ranke übt der Reiz einen Einfluss aus. Mehrere Bei-

---

1) DARWIN, On the movements and habits of climbing plants. 1865. S. 101. (Separatabdruck aus dem Journ. of the Linn. Soc. Vol. IX p. 1—118. Ein Auszug davon befindet sich in der Flora, 1866. S. 241.

2) MOHL, Ueber den Bau und das Winden der Ranken und Schlingpflanzen, 1827. S. 52. —

spiele hierzu findet man in der bereits erwähnten Abhandlung Darwin's; im Folgenden fasse ich nur den ersten dieser Fälle in's Auge.

Um die an der Berührungsstelle in Folge des Reizes entstehenden Krümmungen hervorzubringen genügt bei sehr reizbaren Ranken eine kurz dauernde oder wiederholte Berührung der reizbarsten Strecke, oder ein sehr leichtes aufgesetztes Reiterchen, bei weniger reizbaren Ranken ist eine dauernde Berührung und das damit verbundene Andrücken an die Stütze durch die Nutation zur Krümmung nöthig. Die Krümmungen werden in allen Fällen erst einige Zeit, bisweilen nur einige Minuten, nachdem der Reiz zu wirken angefangen hat, sichtbar. Ist der Reiz nur schwach, oder war seine Dauer nur kurz, so gleichen sich diese Krümmungen später wieder aus.

Starke Erschütterungen verursachen in den Ranken ähnliche Krümmungen, wie in anderen, in die Länge wachsenden Pflanzentheilen, wobei immer die beim Stoss zuerst und am stärksten concav gekrümmte Seite concav bleibt[1]; diese Krümmungen sind aber nicht scharf an einer Stelle, wie die Reizkrümmungen, sondern erstrecken sich gleichmässig über einen grossen Theil der Ranke. Eine merkwürdige Folge starker Erschütterungen bei den Ranken ist die folgende Erscheinung. Ich schlug mit einem dünnen Holzstab ziemlich stark auf die Unterseite, ungefähr in der Mitte ihrer Länge, kräftig wachsender noch grade gestreckter Ranken mehrerer Arten (Cucurbita Pepo, Melothria scabra, Passiflora gracilis, Momordica Charantia). Demzufolge machten sie nicht nur in ihrer ganzen Länge die erwähnte Erschütterungskrümmung, sondern fingen allmählig an sich von ihrer Spitze ab spiralig einzurollen, wobei die Oberseite zur convexen Seite wurde. In einer halben bis einer ganzen Stunde erreichten sie das Maximum dieser Krümmung (bei Passiflora und Melothria etwa zwei Windungen), behielten diese Windungen dann einige Zeit hindurch und streckten sich später wieder grade. Schlug ich auf dieselbe Weise auf die Mitte der Oberseite, so beobachtete ich die nämliche Erscheinung, nur in geringerem Grade. Auch hier wurde die Oberseite zur convexen Seite der Spirale.

In einigen Fällen beschränkt sich die Wirkung des Reizes auf die direct berührte Stelle; indem diese sich krümmt, wird ein angrenzender Querschnitt mit der Stütze in Berührung gebracht, und so windet sich die Ranke allmählig an der Stütze weiter, während die nicht berührten Theile der Ranke ganz grade bleiben. In den gewöhnlichen Fällen windet sich die Ranke auf diese Weise nur von dem Berührungspunkte bis zur Spitze, nicht aber nach der Basis hin, einfach weil diese und die Stütze befestigt sind. Ist die Stütze beweglich, so windet die Ranke sich auch von dem Berührungspunkte abwärts um die Stütze. Ich brachte Ranken von Kürbissen in Berührung mit Hohlcylindern aus dünnem Papier gemacht, deren äusserer Durchmesser etwa 6 Mm. betrug. Die Papierrollen waren

1) Vergl. Sachs, Lehrbuch der Botanik 3. Aufl. S. 693.

über Glasstäbe geschoben, und nachdem die Ranken eine oder mehrere Windungen auf der Rolle gemacht hatten, wurde der Glasstab entfernt, wobei die Rolle an der Ranke hangen blieb. Vorher wurde mit Tusche die Stelle auf der Ranke bezeichnet, mit der sie mit dem Papier in Berührung kam. Jetzt krümmten sich die Ranken von diesem Berührungspunkte abwärts, nach ihrer Basis hin, und bildeten noch einige weitere Windungen auf der Papierrolle. Wenn letztere bei diesen Versuchen nicht zu schwer ist, besitzen später alle Windungen, auch die der Rolle nicht anschliessenden dieselbe Richtung; ist die Rolle aber schwerer, so tritt eine Aenderung der Richtung der Spirale aus demselben Grunde ein, aus welchem diese bei Ranken auftritt, welche eine Stütze umschlungen haben und sich nachher spiralig aufrollen. Wenn Ranken sich um einen, durch ein kleines Gewicht vertikalgespannten Faden schlingen, beobachtet man das nämliche: Erst bildet die Ranke von dem Punkte, wo sie den Faden berührt, aufwärts gegen ihre Spitze Windungen um den Faden herum, dann aber auch einige abwärts gegen ihre Basis, wodurch der Faden gegen die Pflanze hingezogen wird, und ihr oberer Theil also, anstatt der vertikalen eine schiefe Richtung einnimmt. Ich beobachtete diese schiefe Stellung des Fadens während der den Faden nicht berührende Theil der Ranke noch ganz grade war und die Vermehrung der Windungen nach der Basis hinzu sehr deutlich bei Kürbissen und bei Passiflora gracilis. Wenn der Theil der Ranke zwischen dem Faden und der Basis der Ranke sich spiralig einzurollen anfängt, wird der Faden selbstverständlich noch mehr auf die Seite gezogen. Diese einfachen Versuche, zeigen, dass die durch den Reiz entstehenden Krümmungen sich sowohl gegen die Basis der Ranke als gegen ihre Spitze fortpflanzen.

In vielen Fällen, zumal bei älteren Ranken, erstreckt sich die durch den Reiz hervorgerufene Krümmung nicht nur auf den berührten Querschnitt, sondern sogleich auf eine grössere oder geringere Strecke oberhalb und unterhalb dieser Stelle. Die Verschiedenheit des Längenwachsthums der Oberseite und der Unterseite wird also hier auf längeren, nicht berührten Strecken einfach dadurch ausgelöst, dass an einem einzelnen Punkte die Berührung erfolgt. Sehr deutlich beobachtet man dieses, wenn man um Kürbisranken innerhalb der reizbaren Stelle einen dünnen Faden bindet und dadurch einen geringen allseitigen Druck auf die Ranke ausübt. Die Ranke krümmt sich diesem Reize zufolge mit der Unterseite concav und zwar erstreckt sich die gebogene Stelle etwas nach beiden Seiten über den Faden hinaus. Nach einigen Stunden gleicht sich bei günstiger Temperatur diese Krümmung wieder aus. Einen weiteren Beweis für die Verbreitung der Wirkung des Reizes nach beiden Seiten gab mir folgender Versuch. Die Mitte der reizbaren Stelle einer noch geraden Kürbisranke klemmte ich zwischen zwei dünnen und schmalen, etwa 1 Cm. langen Korkplättchen ein, und zwar so, dass das eine Plättchen der Unterseite, das andere der Ober-

seite der Ranke anlag. Mittelst eines Fadens drückte ich beide Plättchen an die Ranke an und hing sie an einem langen Faden auf um durch ihr Gewicht der Ranke nicht zu schaden, aber ohne dadurch die Beweglichkeit dieser wesentlich zu beeinträchtigen. Zwischen den Korkplatten konnte sich die Ranke selbstverständlich nicht krümmen, aber auf den beiden Seiten der gepressten Stelle entstand in einigen Stunden eine Krümmung, welche sich auf 5 resp. 4 Mm. erstreckte und deren Concavität den Kork nicht berührte. Die Krümmung bildete auf der Spitzenseite einen halben Kreisbogen, auf der anderen Seite etwas mehr als ein Viertel eines Kreises. Später verstärkten sich diese Krümmungen zumal auf der Seite der Spitze, wodurch sich die Ranke den Korkplatten anlegte und sich um diese weiter herumschlang. Eine allgemeine und leicht zu beobachtende Thatsache ist es weiter, dass Ranken, deren reizbare Stelle mit einer sehr dünnen Stütze in Berührung kommt, um diese herum eine oder mehrere Windungen machen, ohne sich ihr fest anzulegen, während diese Windungen erst später sich verengern und also der Stütze auf allen Seiten anschliessen. Auch sieht man in solchen Fällen den jüngeren Theil der Ranke von dem gereizten Punkte gegen die Spitze hin sich in einem weiten Bogen krümmen, während die Spitze selbst noch grade bleibt. Eine andere, hierher gehörige Erscheinung ist es, dass die Spitzen solcher Ranken, welche eine sehr dicke Stütze umschlungen haben, oft neben der Stütze einige engere Windungen machen. Auch diese Windungen schreiten von der gereizten Stelle gegen die Spitze hin, und sind also als eine Reizerscheinung zu betrachten, da bekanntlich die ohne Reiz, am Ende des Wachsthums entstehenden Windungen immer an der Spitze selbst anfangen. Auch die Thatsache, dass kurze Zeit nachdem die Spitze einer Ranke eine Stütze umschlungen hat, das spiralige Einrollen in den älteren Theilen der Ranken, von dem gereizten Punkte abwärts erscheint, während er ohne die Reizung noch in längerer Zeit nicht würde stattgefunden haben, kann als Folge einer Verbreitung der Wirkung des Reizes betrachtet werden. Dass hierbei die Richtung der Spirale nicht auf der ganzen Länge der Ranke die nämliche ist, wie bei den sich freiwillig einrollenden Ranken, sondern an einer oder mehreren Stellen abwechselt, wurde schon von Mohl beobachtet und als eine geometrische Nothwendigkeit betrachtet (Mohl, l. c. S. 79), später aber von Darwin (l. c. S. 96) der diese Stelle in Mohl's Abhandlung nicht gelesen zu haben scheint, ausführlicher erklärt und an Beispielen als mechanisch nothwendig erläutert.

Darwin hat (l. c. S. 100) durch hübsche Versuche gezeigt, dass Ranken, welche durch eine unbedeutende und kurzdauernde Reizung eine Krümmung an der gereizten Stelle gemacht haben, später nachdem der Reiz zu wirken aufgehört hat, die Krümmung ausgleichen und sich wieder grade strecken. Ich wiederholte seine Versuche mit verschiedenen Arten von Rankenpflanzen und fand im Allgemeinen seine Angabe bestätigt. In

einzelnen Fällen aber erhielt ich ein abweichendes Resultat: Eine Ranke von Cucurbita Pepo wand sich in einer Windung um eine dünne Stütze, die die Stütze nicht berührenden Theile blieben grade. Als nun die Stütze vorsichtig entfernt wurde, wand sich die Ranke von der gekrümmten Stelle aus nach beiden Seiten hin, so dass nach zwei Stunden an dieser Stelle zwei ganze Windungen waren, während die übrigen Theile der Ranken noch immer grade geblieben waren. Nachher wurde die Krümmung wieder geringer und streckte sich die Ranke bis auf $1/4$ Windung wieder grade. An einer anderen Kürbisranke machte ich die nämliche Beobachtung. Eine Ranke von Cucumis Dipsacus hatte sich in Berührung mit einer Stütze scharf in $1/4$ Windung gekrümmt, so dass ihr oberer und ihr unterer Theil einen rechten Winkel mit einander bildeten. Als nun die Stütze entfernt wurde, krümmte sich die Ranke an der vorher gereizten Stelle in einer engen Windung, streckte sich aber später wieder grade. Diese Beobachtungen zeigen, dass die Wirkung des Reizes fortdauern kann, nachdem der reizende Körper selbst entfernt wurde. Hatte die Berührung länger gedauert, so beobachtete ich öfters, dass die Krümmung nachher sich von der gereizten Stelle aus fortsetzte, ohne sich später wieder auszugleichen. Ranken von Passiflora gracilis und Cyclanthera edulis, welche um eine dünne Stütze 1—3 Windungen gemacht hatten, wanden sich, nachdem die Stütze entfernt worden war, von der gekrümmten Stelle in einen unregelmässigen Knäuel zusammen (während die sich freiwillig einrollenden Ranken meist eine sehr regelmässige Schraubenlinie bilden).

Die Ranken können sich um Stützen sehr verschiedener Dicke winden. Die Ranken der meisten Pflanzen können sich um die dünnsten Fäden winden; für die dickeren Ranken, z. B. für die des Weins scheint es eine Grenze in der Dicke der Stützen zu geben, unterhalb welcher sie sich ihnen nicht mehr in einer ganzen Windung anschmiegen können [1]).

An hinreichend dünne Stützen legen sich die Ranken in regelmässigen Schraubenwindungen an, welche meist dicht nebeneinander, oft sogar theilweise über einander liegen. Um dickere Stützen hingegen bildet die Ranke eine wellig an der Oberfläche hin- und hergebogene Schraubenlinie. Kurze Zeit, nachdem sich die Windungen um die Stütze gebildet haben, üben sie auf diese (vielleicht mit Ausnahme ganz dünner Fäden und Drähte) einen Druck aus, indem die Ranken sich stärker zu krümmen suchen; es erscheint dabei die Stütze als zu dick für die der eigentlichen Wachsthumsdifferenz der beiden Seiten entsprechenden Krümmungen. Die Existenz dieser den Druck verursachenden Neigung zu stärkerer Krümmung ist leicht darzuthun: Man bezeichnet mit Tusche auf eine Ranke kurze Zeit nachdem sie eine Stütze umschlungen hat, die Stelle, wo sie mit dieser in Berührung kommt und wo sie diese verlässt, und bestimmt die Zahl der

1) Vergl. hierüber Sachs, Lehrbuch der Botanik 3. Aufl. S. 773.

zwischen beiden Marken befindlichen, also der der Stütze anliegenden Windungen. Jetzt schiebt man die Ranke vorsichtig von der Stütze ab. In dem Augenblick, wo die Windungen frei werden, ziehen sie sich zusammen, indem ihr Durchmesser ein geringerer als der der Stütze wird und zugleich ihre Zahl zunimmt. Ich liess z. B. eine Ranke von Cucurbita sich um eine 5 Mm. dicke Stütze winden. In einigen Stunden hatte sie $2^1/_2$ eng anschliessende Windungen gemacht, welche sich bei dem Abschieben von der Stütze auf 4 Windungen zusammengezogen. Dass die Ranke einen Druck auf die Stütze ausübt, wurde schon von Mohl (l. c. S. 63) bemerkt, der beobachtete, dass Ranken Blätter, welche sie umschlingen zusammendrücken; eine Beobachtung, welche sich sowohl im Freien, als auch künstlich, z. B. an Cylindern aus dünnem Papier, an denen man auf einem Theil ihrer Länge einen Längsstreifen entfernt hat, leicht wiederholen lässt.

Um dickere Stützen bildet die Ranke, wie erwähnt wurde, eine wellig hin- und hergebogene Linie. Indem einzelne kurze Strecken der Ranke sich stärker zu krümmen suchen als dem Durchmesser der Stütze entspricht, heben sie sich von dieser ab, schmiegen sich ihr aber, während die stärkere Krümmung entsteht, seitlich wieder an, wodurch eine gebogene Linie an der Oberfläche der Stütze entsteht. Wird nun eine solche Ranke vorsichtig von ihrer Stütze abgeschoben, so zieht sie sich, wie die um dünnere Stützen gewundene, zu engeren und deshalb vermehrten Windungen zusammen, und die welligen Ausbiegungen bleiben als solche vorhanden und verstärken ihre Krümmung. Dabei sieht man aber nicht selten, dass nach dem Isoliren die Windungen der Spirale nicht alle gleich gerichtet sind, sondern dass ihre Richtung sich an einer oder mehreren Stellen ändert. Zumal beobachtet man dieses, wo die welligen Ausbiegungen sehr stark waren, und hat man diese vor dem Isoliren mit Tusche bezeichnet so liegen nachher diese Tuschestriche an den Punkten der Ranke, wo die Richtung der Spirale sich ändert. Ein paar Beispiele mögen diese sehr leicht zu wiederholende Beobachtung erläutern: Eine Kürbisranke wand sich in $5^1/_2$ Windungen um eine 6,0 Mm. dicke Stütze; nach dem Isoliren bildete diese Strecke 8 engere Windungen mit 4 Wendepunkten. An einer Ranke von Momordica Charantia, welche eine Windung um eine 6 Mm. dicke Stütze gebildet hatte und in dieser zwei wellige Ausbiegungen zeigte, wurden die Mitten dieser beiden Stellen mit Tusche bezeichnet und dann die Ranke von der Stütze abgeschoben. Es bildete diese Strecke jetzt ungefähr zwei Windungen mit zwei Wendepunkten, in deren Mitte die Marken lagen.

Aus allem dem Vorhergehenden folgt:

1) Die Beeinflussung der Wachsthumsdifferenz der Ober- und Unterseite der Ranken durch Reize ist nicht immer local, sondern kann sich von der gereizten Stelle aus über eine grössere oder geringere Strecke, in gewissen Fällen über die ganze Ranke verbreiten.

2) Die Beeinflussung der Wachsthumsdifferenz der Ober- und Unterseite der Ranken durch den Reiz hört nicht immer sogleich mit der Berührung auf, sondern dauert unter bestimmten Umständen noch einige Zeit fort, nachdem der berührende Körper entfernt worden ist.

3) Die Grösse der durch den Reiz ausgelösten Wachsthumsdifferenz hängt nicht von der Dicke der Stütze, sondern von inneren Ursachen ab; in den gewöhnlichen Fällen sucht die Ranke sich durch den Reiz stärker zu krümmen als der Dicke der Stütze entspricht und drückt sich ihr dadurch fest an.

Meine Untersuchungen über das absolute Längenwachsthum der Ober- und Unterseite der sich krümmenden Stellen in den Ranken in Vergleich mit dem Wachsthum bei gradem Wuchs beziehen sich direct nur auf die sich um Stützen krümmenden Stellen. Bei diesen schloss ich auf das Wachsthum bei gradem Wuchs aus dem Wachsthum der der gereizten Stelle beiderseits am nächsten liegenden, grade bleibenden Strecken der nämlichen Ranke. Bei der Veränderung der Länge der sich freiwillig einrollenden Ranken und der sich spiralig zusammenziehenden Theile derjenigen Ranken, welche eine Stütze gefasst haben, zwischen dieser Stütze und der Basis der Ranke selbst, wäre nur eine Vergleichung mit dem Wachsthum der nämlichen Theile kurze Zeit vor dem Einrollen möglich. Ich habe diese aber unterlassen, da die einfachen Messungen der Längenveränderung bei diesen Bewegungen im Allgemeinen schon hinreichend deutliche Zahlen liefern, um eine solche Vergleichung völlig überflüssig zu machen.

Für alle Fälle war die Methode der Messungen, der Hauptsache nach, die nämliche, und ich will daher zunächst diese beschreiben.

Ehe die Ranken anfingen sich zu krümmen, oder kurze Zeit bevor sie mit einer Stütze in Berührung gebracht wurden, wurden mit Tusche feine Querlinien auf ihre Oberseite aufgetragen, deren Distanz in der reizbaren Stelle genau 1 Mm., in den anderen Theilen aber genau 1 Cm. betrug. Dann wurde mit der Unterseite der reizbaren Stelle eine Stütze in Berührung gebracht und die Ranke daran mittelst eines sehr dünnen Fadens befestigt, damit sie sich nicht durch Nutation wieder von ihr entferne. Die Ranke wand sich jetzt in einer oder mehreren Windungen um die Stütze. Je nach ihrem Alter blieben dabei die unteren, von der Stütze nicht berührten Theile grade oder fingen auch sie an, sich spiralig einzurollen. Der Theil zwischen der Stütze und der Spitze der Ranke, blieb in vielen Versuchen auch bis zu Ende des Versuchs grade, oder bei längerer Dauer wand er sich von oben herab ganz um die Stütze oder er wand sich in freien Windungen neben der Stütze. Wo es möglich war, wurde der Versuch beendigt, nachdem die Ranke um die Stütze eine oder zwei,

eng an der Stütze anliegende Windungen gemacht hatte, und ehe die nicht berührten Theile noch angefangen hatten sich zu krümmen. In diesen Versuchen wurde die Länge der an den gewundenen Theil grenzenden, grade gebliebenen Strecken direct mit dem Maassstab am Ende des Versuchs bestimmt und so ihr Wachsthum während des Versuchs zum Vergleich mit demjenigen der gewundenen Strecke gefunden.

Für die Berechnung des Wachsthums der schraubig gewundenen Theile wurden ausschliesslich allseitig gleichmässige, der Stütze eng anliegende Windungen benutzt. War aus den vorhandenen Windungen eine solche ausgewählt, so wurde zunächst bestimmt, wie viele der Abtheilungen, welche von Anfang des Versuchs auf der Oberseite der Ranke mit Tusche bezeichnet waren, und welche damals je 1 Mm. Länge hatten, auf der Aussenseite in genau einer Windung lagen. Diese Zahl giebt die Länge der Windung vor Anfang der Krümmung in Millimetern. Um die Länge der Aussenseite und der Innenseite der Windung am Ende des Versuchs bestimmen zu können, wurde die Schraubenwindung als kreisförmig betrachtet, und mittelst einer Micrometerschraube [1]) der Diameter des äusseren und des inneren Kreises gemessen Als Diameter des inneren Kreises ist die Dicke der Stütze zu betrachten, da die Innenseite der Rankenwindung dieser eng anlag. Der äussere Diameter ist der Summe der Stützendicke und der doppelten Dicke der Ranke gleich, und es wurde daher zur Controlle in den meisten Versuchen auch noch die Dicke der Ranke in der Versuchsstelle direct mit der Micrometerschraube gemessen. Bei den freien Windungen konnte der innere Durchmesser nur durch die Differenz des äusseren Durchmessers und der doppelten Rankendicke bestimmt werden. Aus dem Durchmesser wurde dann die Länge des Umkreises durch Multipliciren mit 3,14 bestimmt.

Um auch für die so erhaltenen Zahlen eine Controlle zu gewinnen, wurde eine directe Messung mittelst eines schmalen Papierstreifens vorgenommen, worauf eine Mm.-Eintheilung gedruckt war. Die Messung des äusseren Umkreises fand durch directes Anlegen dieses Streifens an die Windung statt; zur Messung des inneren Umkreises wurde eine feine Rolle aus dem Papierstreifen gemacht, mit der Eintheilung auf der Aussenseite, und die Windung vorsichtig von der Stütze auf diese hinübergeschoben. Lässt man die Rolle frei, so entrollt sie sich durch die Elacticität des Papiers und schliesst der Rankenwindung an; man kann dann auf

---

1) Die Micrometerschraube erlaubte eine leichte und genaue Ablesung von Hundertel-Mm.; da aber die Gleichmässigkeit der Windung und das Anschliessen der Ranke an die Schraube während der Messung diese Genauigkeit nicht erreicht, wurden nur halbe Zehntel-Mm. berücksichtigt und bei hinreichend gleichmässigen Windungen überschritt der Beobachtungsfehler nie 0,05 Mm., wodurch, wie die Einrichtung der Tabelle zeigt, in den meisten Fällen eine gleiche Genauigkeit in dem auf Mm. berechneten Zuwachs entsteht.

ihrer Aussenseite die Länge des gesuchten Umkreises ablesen. Die directe Messung des äusseren Umkreises liefert bei nicht zu kleinem Radius des Kreises eine hinreichende Genauigkeit. Diejenige des inneren Umkreises kann nur bei Versuchen mit ziemlich dicken Stützen mit Erfolg angewendet werden, unterliegt hier aber der Schwierigkeit, dass, wie oben erwähnt, die Windungen sich beim Isoliren von der Stütze zusammenziehen; die so erhaltenen Zahlen führe ich, obgleich sie in mehreren Fällen eine hinreichende Bestätigung der berechneten lieferten, in den Tabellen nicht auf. Die aus dem Durchmesser des äusseren Umkreises berechneten und die direct beobachteten Zahlen stimmen hinreichend gut mit einander überein; für die Berechnung der Zuwachse benutzte ich immer die erstere Zahl.

Wenn man nach dieser Methode die Länge der Windung vor Anfang des Versuchs, wo der betreffende Theil noch grade, also die Ober- und Unterseite gleich lang waren, die Länge der äusseren und diejenige des inneren Umkreises nach Beendigung des Versuchs gefunden hat, so braucht man selbstverständlich die erstere Zahl nur in die beiden letzteren zu dividiren, um die mittlere Länge einer anfänglichen Mm.-Abtheilung auf der Aussen- und Innenseite am Ende des Versuchs zu erhalten. Zieht man von diesen Zahlen die Anfangslänge = 1 Mm. ab, so erhält man die auf 1 Mm. berechneten, in Mm. ausgedrückten Zuwachse. Die so berechneten Zahlen geben die deutlichste Einsicht in die erhaltenen Resultate, und lassen eine directe Vergleichung mit dem Wachsthum der grade gebliebenen Theile zu.

Da die Unterschiede in den absoluten Längen der Aussen- und Innenseite einer Windung desto grösser sind, je dicker die Ranke ist, und sie sich bei dünnen Ranken einer genauen Messung entziehen, habe ich für diese Versuche ausschliesslich Arten mit dickeren Ranken benutzt.

Ueber die Methode im Allgemeinen habe ich noch hinzuzufügen, dass meist nur eine Windung für die Messungen benutzt wurde; selten waren zwei aufeinander folgende Windungen einander, zumal in der Dicke der Ranke, so ähnlich, dass es erlaubt erschien, Mittelwerthe zu benutzen. Bei den freien Windungen in dem älteren Theil der Ranke ist die Dicke gleichmässiger; hier wurde die Zahl der Windungen bestimmt, die sich auf 1 oder 2 Cm. der ursprünglichen Länge gebildet hatten und daraus die Länge einer Windung vor Anfang des Versuchs berechnet.

Ich will jetzt einen Versuch ausführlich beschreiben, um eine Einsicht in die Einzelheiten der Methode zu gestatten.

Cucurbita Pepo.

28—29. Juli, Dauer 15 Stunden, Temp. 25—30° C.

Eine junge 12 Cm. lange Ranke an einer im Topfe hinter einem Südfenster in einem feuchten Raum wachsenden jungen Pflanze, wurde mittelst feiner Querlinien von Tusche auf der Oberseite genau in Cm. eingetheilt. Die

4te und 5te der so erhaltenen Abtheilungen (von der Spitze aus gezählt) wurden in der nämlichen Weise in Mm. eingetheilt. Ein Eisendraht diente als Stütze und wurde der Unterseite der in Mm. eingetheilten Strecke sanft angedrückt und diese daran nicht weiter befestigt. Nach einigen Stunden war eine deutliche Krümmung an der Berührungsstelle eingetreten; am Ende des Versuchs etwa $1\frac{1}{2}$ Windung, genau an die Stütze anschliessend, gebildet; die übrigen Theile der Ranke aber grade geblieben. Die 3te Cm.-Abtheilung von der Spitze ab gezählt, war jetzt 1,2 Cm. lang, die 6te und ebenso die älteren je 1,1 Cm. lang. Von den $1\frac{1}{2}$ Windungen wurden die beiden Enden so abgeschnitten, dass genau eine Windung übrig blieb, deren Länge 4,6 der vor Anfang des Versuchs auf der Oberseite bezeichneten Mm.-Abtheilungen betrug. Die directe Messung ergab ferner für die Dicke der Stütze 1,55 Mm., für die Dicke der Ranke 0,65 Mm., für den Durchmesser des äusseren Umkreises 2,8 Mm. und für die Länge dieses äusseren Umkreises 9,0 Mm.

Die Dicke der Stütze ergiebt für die Länge des inneren Umkreises $1,55 \times 3,14 = 4,87$ Mm.

Der Durchmesser des äusseren Umkreises ergiebt für die Länge dieses $2,80 \times 3,14 = 8,79$ Mm.

Die Länge einer Mm.-Abtheilung am Ende des Versuchs ist also:

auf der Innenseite $\frac{4,87}{4,6} = 1,05$ Mm.; Zuwachs auf 1 Mm. = 0,05 Mm.

auf der Aussenseite $\frac{8,79}{4,6} = 1,9$ Mm.; Zuwachs auf 1 Mm. = 0,9 Mm.

Nimmt man für das Wachsthum dieser Strecke, wenn sie grade geblieben wäre, das Mittel des Wachsthums der Ranke oberhalb und unterhalb dieser Strecke an, so bekommt man 0,15 Cm. auf 1 Cm., oder 0,15 Mm. auf 1 Mm. Es ergiebt sich also, dass bei dem Winden die Innenseite absolut langsamer, die Aussenseite aber absolut und zwar bedeutend stärker gewachsen ist, als dieses ohne Krümmung der Fall gewesen sein würde.

Wenn nun auch das Wachsthum bei normalem gradem Wuchs nicht genau als das Mittel der beiden dazu benutzten Zahlen angenommen werden darf, so kann dieses doch niemals geringer angenommen werden als 0,1 Mm. auf jeden Mm., andererseits auch das Wachsthum der höheren Theile nicht so stark übersteigen, dass es den gezogenen Schluss beeinträchtigen könnte.

Die folgende Tabelle enthält die in dieser Weise für eine grössere Anzahl von Ranken von Cucurbita Pepo gewonnenen Zahlen, die zweite die Resultate derselben Versuche mit anderen Arten. Aus dem Vorhergehenden

wird die Bedeutung der einzelnen Columnen leicht verständlich sein. Die Ranken waren meist solche in Töpfen gezogener Pflanzen; theilweise aber benutzte ich Ranken an abgeschnittenen Sprossgipfeln von im Freien gewachsenen Pflanzen. Beim Abschneiden dieser Sprossgipfel wurde die aus meiner vorhergehenden Arbeit sich ergebende Regel befolgt: ich stellte neben der Pflanze ein Gefäss mit Wasser, tauchte die Schnittfläche sogleich nach dem Abschneiden unter und schnitt dann unter Wasser eine etwa 5 Cm. lange Strecke ab. Die Dauer der Versuche betrug ½ bis 2 Tage; die Temperatur war zwischen 25° und 30° C. Die Versuche wurden grossentheils in Doppelfenstern angestellt, wo die Luft sehr feucht gehalten wurde. Als Stütze dienten Glasröhren oder Eisendrähte.

Tabelle I.

Längenwachsthum der Ranken von Cucurbita Pepo bei den durch Reiz hervorgerufenen Krümmungen.

Ranken.		Länge der Ranke in Cm.	In Mm. ausgedrückte: Durchmess. der Stütze.	Durchmess. des äuss. Umkreises.	Beobachtete Dicke der Ranke.	Berechnete Länge des inn. Umkreises.	Berechnete Länge des äuss. Umkreises.	Beob. Länge des äuss. Umkreises.	Zahl der Mm.-Abtheil. auf 1. Windung.	Berechnete Zuwachse in Mm.; auf 1 Mm. der Innens. der Windung.	Berechnete Zuwachse Aussens. der Windung.	Beob. Zuwachse in Cm.; auf 1 Cm. oberh. der Windung.	Beob. Zuwachse unterh. der Windung.
Nr.	I[1]	12	1.55	2.8	0.65	4.87	8.79	9.0	4.6	0.05	0.9	0.2	0.1
»	II	—	1.2	2.6	—	3.77	8.16	—	3.4	0.1	1.4	0.25	0.15
»	III	14	3.7	5.2	—	11.62	16.33	—	10.5	0.1	0.55	0.3	0.15
»	IV	13	2.35	3.7	0.65	7 38	11.62	11.5	7.0	0.05	0.65	0.25	0.05
»	V	—	3.3	—	0.9	10.36	16.01	—	9.0	0.15	0.8	—	—
»	VI	10	1.55	2.65	0.55	4.87	8.32	8.6	4.2	0.15	1.0	—	—
»	VII	11	3.3	4.65	0.65	10.36	14.60	14.5	9.4	0.1	0.55	—	0.2
»	VIII	13	2.35	3.65	0.65	7.38	11.46	12.0	7.1	0.05	0.6	0.4	—
»	IX	12	3.10	4.7	—	9.72	14.76	14 3	9.5	0.0	0.55	0.4	0.05
»	X	14	0.9	2.2	—	2.83	6.91	7.0	2.8	0.0	1.45	0.2	—
»	XI	10	1.2	2.3	0.55	3.77	7.22	—	3.8	0.0	0.9	—	0.15
»	XII	—	3.9	5.7	—	12.25	17.90	—	12.0	0.0	0.5	—	—
»	XIII	17	1.2	2.4	0.6	3.77	7.54	—	3 9	—0.05	0.95	0.1	0.05
»	XIV	11	1.2	2.3	—	3.77	7.22	7.2	3.9	—0.05	0.85	0.1	0.05
»	XV	—	3.3	—	1.0	10.36	16.64	—	11.0	—0.05	1.5	—	—
»	XVI	10	1.55	2.9	0.7	4.87	9.11	9.0	5.0	—0.05	0.8	—	—
»	XVII	—	4.8	—	1.0	15.07	21.35	—	17.0	—0.1	0.25	—	—
»	XVIII	—	3.5	5.0	—	10.99	15.70	—	12.0	—0.1	0.3	—	—
»	XIX	—	3.7	6.0	—	11.62	18.84	—	13.0	—0.1	0.45	—	—
»	XX	—	3.7	5.3	—	11.62	16.64	—	14.0	—0.15	0.2	—	—
»	XXI	—	0.9	2.2	—	2.83	6.91	—	3.6	—0.2	0.9	—	0.05
»	XXII	—	1.2	2.8	—	3.77	8.79	—	5.0	—0.25	0.75	0.1	0.1
»	XXIII	13	1.2	2.3	—	3.77	7.22	7.0	5.0	—0.25	0.45	—	—

1) Die Zahlen des oben ausführlicher mitgetheilten Versuches.

Tabelle II.

Längenwachsthum der Ranken bei den durch den Reiz hervorgerufenen Krümmungen.

Arten.	Länge der Ranke in Cm.	In Mm. ausgedrückte: Durchmess. der Stütze.	Durchmess. des äuss. Umkreises.	Beobachtete Dicke der Ranke.	Berechnete Länge des inn. Umkreises.	Berechnete Länge des äuss. Umkreises.	Beob. Länge des äuss. Umkreises.	Zahl der Mm.-Abtheil. auf 1. Windung.	Berechnete Zuwachse in Mm.; auf 1 Mm. der Windung: Innens.	Aussens.	Beob. Zuwachse in Cm.; auf 1 Cm. der Ranke. oberh. der Windung.	unterh. der Windung.
Sicyos Boderoa	18	0.95	1.95	0.5	2.98	6.12	—	3.4	—0.1	0.8	0.15	0.05
Nr. II	—	0.9	1.8	—	2.83	5.65	—	3.4	—0.15	0.7	0.1	0.05
» III	12	0.95	1.9	0.5	2.98	5.97	—	3.4	—0.1	0.75	0.0	0.0
» IV	12	0.95	2.0	0.55	2.98	6.28	—	3.3	—0.1	0.9	0.05	0.05
Bryonia alba	16	0.95	2.1	0.6	2.98	6.59	—	3.6	—0.15	0.85	0.15	0.05
Microsechium ruder.	10	0.9	1.75	0.45	2.83	5.50	—	3.1	—0.1	0.75	0.05	0.1
Nr. II	17	0.95	2.0	0.55	2.98	6.28	—	3.8	—0.2	0.65	0.05	—
» III	20	0.95	1.8	0.45	2.98	5.65	—	4.0	—0.25	0.4	0.0	0.0
Cyclanthera edulis	11	0.9	1.9	—	2.83	5.97	—	2.9	0.0	1.05	0.5	0.1
Nr. II	21	1.2	2.2	0.5	3.77	6.91	7.0	3.1	0.2	1.1	—	—
» III	14	1.55	2.4	0.45	4.87	7.54	7.5	4.5	0.1	0.65	0.3	0.1
» IV	14	1.55	2.4	0.4	4.87	7.54	8.0	5.0	—0.05	0.5	0.2	0.1
» V	—	1.2	2.4	—	3.77	7.54	—	3.0	—0.25	0.5	0.4	0.1
Passiflora alata	21	1.65	2.95	0.65	5.18	9.26	—	5.1	0.0	0.8	0.2	0.2
Passifl. cinnabarina	13	0.95	2.3	0.65	2.98	7.22	—	2.6	0.15	1.8	0.3	0.2
Nr. II	16	—	2.45	0.6	3.93	7.69	—	3.9	0.0	0.95	—	—
» III	18	—	2.3	0.65	3.14	7.22	—	3.6	—0.15	1.0	—	—
Disemma Mülleriana	16	0.95	2.2	0.6	2.98	6.91	—	3.0	0.0	1.3	—	—
Nr. II	22	1.25	2.55	0.65	3.93	8.01	—	4.4	—0.1	0.8	—	—

Aus diesen beiden Tafeln geht hervor:

1) Bei den durch Berührung mit einer Stütze an der Berührungsstelle hervorgerufenen Krümmungen der Ranken wächst die Oberseite immer stärker und zwar meist bedeutend stärker als die Oberseite der der gekrümmten Stelle zunächst liegenden grade bleibenden Theile.

2) Bei diesen Krümmungen wächst die Unterseite entweder weniger als die Unterseite der der gekrümmten Stelle zunächst liegenden grade bleibenden Theile, oder sie wächst während der Krümmung gar nicht, oder sie wird sogar kürzer.

Welche von diesen drei Möglichkeiten in jedem einzelnen Falle auftritt, hängt von der Frage ab, ob das Wachsthum bei normalem gradem Wuchs stärker oder schwächer gewesen sein würde, wie sich leicht aus der ersten Tabelle ergiebt.

Das Wachsthum der Ranken hört in den um eine Stütze gekrümmten Stellen nicht sogleich nach der Vollendung der Krümmung auf, wenigstens nicht in allen Fällen. Man überzeugt sich hiervon sehr leicht durch folgenden Versuch. Kurz nachdem eine Ranke einige eng anschliessende Windungen um die Stütze gemacht hat, zieht man mit Tusche eine feine, der Achse der Stütze parallele Linie über diese Windungen. Nach einiger Zeit beobachtet man, dass die auf den einzelnen Windungen befindlichen Theile dieser Linie gegen einander verschoben sind, und zwar in einer Richtung, welche einer Verlängerung der einzelnen Windungstheile entspricht. Be

einem solchen Versuch zeigte mir eine um eine 6 Mm. dicke Stütze in zwei Windungen gewundene Ranke von Cucurbita Pepo, innerhalb 6 Stunden einen Zuwachs von 1 Mm. in jeder Windung; eine Ranke von Momordica Charantia in einer, um eine gleich dicke Stütze gemachte Windung einen Zuwachs von 2 Mm. innerhalb 24 Stunden.

Bei denjenigen Schraubenwindungen, welche nicht an der berührten Stelle um die Stütze herum gebildet werden, sondern entweder zwischen der Stütze und der Basis der Ranke, oder, wenn die Ranke keine Stütze gefasst hat, von der Spitze abwärts über ihre ganze Länge oder einen grossen Theil ihrer Länge entstehen, ist eine Vergleichung des Wachsthums der Innen- und Aussenseite mit dem normalen graden Wuchs, wie oben auseinandergesetzt wurde, nicht möglich. Die Angaben des Wachsthums von grade bleibenden Theilen fehlt daher in der folgenden Tabelle; auch ist der Durchmesser des inneren Umkreises nicht direct gemessen worden, sondern aus demjenigen des äusseren Umkreises und der Dicke der Ranke bestimmt. Wie schon erwähnt, ist die Länge einer Windung vor dem Versuch berechnet aus der Zahl der Windungen auf einer Cm.-Abtheilung. Im Uebrigen ist die Tabelle in gleicher Weise wie die beiden Vorhergehenden eingerichtet. Auch die Bedingungen der Versuche waren die nämlichen wie in der vorigen Versuchsreihe. Die Versuchsdauer war meist 1—2 Tage.

Tabelle III.

Längenwachsthum der Ober- und Unterseite von Ranken und Rankentheilen, welche sich ohne Berührung mit einer Stütze krümmen.

Arten.	Länge der Ranke in Cm.	In Mm. ausgedrückte: Dicke der Ranke.	Durchmess. des inn. Umkreises. ber.	Durchmess. des äuss. Umkreises. beob.	Berechnete Länge des inn. Umkreises.	Berechnete Länge des äuss. Umkreises.	Beob. Länge des äuss. Umkreises.	Anzahl gleichmässiger Wind. auf 1 Cm.	Daraus berechnete Länge einer Wind. vor Anfang des Versuchs.	Berechnete Zuwachse in Mm.; auf 1 Mm. der Innens. der Windung.	Berechnete Zuwachse in Mm.; auf 1 Mm. der Aussens. der Windung.
I. Freie Windungen des unteren Theils, nachdem die Spitze sich um eine Stütze geschlungen hat.											
Cucurbita Pepo	—	0.7	3.6	5.0	11.30	15.70	—	1.13	8.8	0.3	0.8
Nr. II	11	0.5	1.5	2.5	4.71	7.85	8.0	1.8	5.6	—0.15	0.4
» III	10	0.7	1.85	3.25	5.81	10.21	—	1.5	6.7	—0.15	0.5
» IV	14	0.8	1.8	3.4	5.65	10.68	—	1.5	6.7	—0.15	0.6
» V	13	0.7	1.4	2.8	4.40	8.79	—	1.75	5.7	—0.25	0.55
» VI	—	0.8	1.4	3.0	4.40	9.42	—	1.7	6.0	—0.25	0.55
Microsech. ruderale	20	0.4	1.4	2.2	4.40	6.91	—	2.13	4.7	—0.05	0.5
Nr. II	17	0.55	1.0	2.1	3.14	6.59	—	2.25	4.4	—0.35	0.5
Passifl. cinnabarina	18	0.6	1.1	2.3	3.45	7.22	—	2.8	3.6	—0.05	1.0
Nr. II	16	0.55	1.25	2.35	3.93	7.38	8.0	2,3	4.3	—0.1	0.7
Cyclanthera edulis	18	0.7	1.8	3.2	5.65	10.05	—	2.2	4.5	0.25	1.25
Disemma Mülleriana	16	0.55	1.35	2.45	4.24	7.69	—	2.2	4.5	—0.05	0.7
II. Freie Windungen von Ranken, welche keine Stütze umfasst haben.											
Cucurbita Pepo	—	0.6	2.4	3.6	7.54	11.30	—	1.13	8.8	—0.15	0.3
Cylanthera edulis	24	0.45	1.3	2.2	4.08	6.91	—	—	3.9[1]	0.05	0.8
Passiflora Imperatrix	14	0.95	1.6	3.5	5.02	10.99	11.6	—	0.65[1]	—0.25	0.7

1) Direct beobachtet mittelst vorher gemachter Mm.-Eintheilung.

Diese Zahlen zeigen:

1) Dass das Längenwachsthum der Oberseite bei den sich schraubenartig einrollenden Ranken bedeutend stärker ist, als das Wachsthum der nämlichen grade bleibenden Strecken in gleicher Zeit, kurz vor oder am Ende des Längenwachsthums der Ranken (vor dem Rückwärtseinrollen) auch unter den günstigsten Umständen sein kann.

2) Dass bei diesen Krümmungen in weitaus den meisten Fällen eine Verkürzung der concaven Seite eintritt.

Die Vergleichung mit den Resultaten der beiden vorigen Tafeln führt zu dem Anfangs ausgesprochenen allgemeinen Satze:

Bei den Krümmungen der Ranken wird das Wachsthum auf der convexen Seite beschleunigt, dasjenige der concaven Seite aber vermindert, oder auf 0 reducirt. Bei geringem Totalwachsthum der Ranke tritt sogar eine Verkürzung der concaven Seite ein.

X.

Zur Mechanik der Bewegungen von Schlingpflanzen.

Von

Dr. Hugo de Vries.

In der botanischen Literatur stehen sich über die Ursache des Windens der Schlingpflanzen zwei Meinungen gegenüber: die eine, von MOHL [1]) begründete und am Allgemeinsten verbreitete nimmt eine Reizbarkeit in den Stengeln dieser Pflanzen an, welche der Reizbarkeit der Ranken analog sein soll; die andere, von PALM [2]) zuerst aufgestellte, später von DARWIN [3]) in etwas abweichender Art vertretene, glaubt das Winden ohne die Annahme einer solchen Reizbarkeit erklären zu können. PALM's Ansichten wurden durch die Kritik MOHL's scheinbar endgültig widerlegt, und die von DARWIN angestellten Experimente richteten sich nicht gegen den Schwerpunkt der MOHL'schen Theorie, die Reizbarkeit durch dauernde Berührung, und so gelang es diesem Forscher nicht seine Auffassung zur allgemeinen Anerkennung zu bringen.

Bei diesem Stand der Sache erschien eine neue Untersuchung über dieses Thema erwünscht, um, wenn möglich, eine endgültige Entscheidung der Frage zu erreichen. Diesen Zweck habe ich in der vorliegenden Abhandlung angestrebt, und zugleich wenigstens eine Andeutung für eine spätere mechanische Erklärung zu geben versucht. Leider fehlte mir die Zeit, diejenigen beabsichtigten Versuche anzustellen, welche zu dieser Erklärung führen sollten. Ich habe in dieser Arbeit ausschliesslich die mechanische Seite der Frage berücksichtigt; für eine Beschreibung der bei ver-

1) MOHL, Ueber den Bau und das Winden der Ranken und Schlingpflanzen. 1827. 4⁰.

2) PALM, Ueber das Winden der Pflanzen 1827. Vergl auch die ausführliche Kritik MOHL's; l. c. S. 145—152. Die Arbeit selbst ist erst während des Druckes in meine Hände gekommen.

3) DARWIN, On the movements and habits of climbing plants 1865 (Separatabdr. aus dem Journ. of the Linn. Soc. Vol. IX. p. 1—118).

schiedenen Arten beobachteten Einzelheiten, sowie für die Darstellung der Beziehung des Windens zu dem Leben der Pflanze muss ich auf die beiden vorzüglichen, bereits citirten Abhandlungen Mohl's und Darwin's verweisen.

In dem ersten Theile dieser Abhandlung habe ich, nebst einer geschichtlichen Einleitung, in einzelnen kleinen Abschnitten meine Versuche beschrieben; jeder dieser Abschnitte bezweckt die Beantwortung einer ganz speciellen Frage. Im zweiten Theile habe ich es dann versucht, die erhaltenen Resultate zu einer übersichtlichen Darstellung der bei den Schlingpflanzen beobachteten Wachsthumsbewegung zusammen zu fassen.

Für das Verständniss des Folgenden wird es vielleicht von Nutzen sein, schon von vornherein zu bemerken, dass meine Untersuchungen mich zu der Ueberzeugung der Richtigkeit der Palm'schen Ansicht, also der Nichtexistenz einer Reizbarkeit geführt haben.

I. Experimenteller Theil.

Geschichtliches und Versuche über Reizbarkeit.

Ein Hauptsatz bei jeder Untersuchung über die Ursache des Windens, welcher als solcher von sämmtlichen Forschern mehr oder weniger klar ausgesprochen und hervorgehoben wurde, ist, dass die kreisförmige Bewegung der Sprossgipfel und die Windungen gleichgerichtet sind. Die kreisförmige Bewegung der Gipfel entsteht bekanntlich aus dem Zusammenwirken der Nutation der jüngeren, und der Torsion der älteren Theile; beide führen den überhangenden Gipfel in der nämlichen Richtung im Kreise herum; erstere aber viel rascher als letzere. Palm (l. c. S. 18, vergl. Mohl, l. c. S. 146) hat diese beiden Ursachen der kreisförmigen Bewegung bereits richtig unterschieden, und die Nutation als die Ursache des Windens, die Torsion als eine von beiden unabhängige Erscheinung betrachtet. Mohl hingegen kannte die Nutation nicht und betrachtete deshalb fälschlich die Torsion als die einzige Ursache der kreisförmigen Bewegung; diese konnte selbstverständlich das Winden nicht verursachen, und so wurde Mohl (S. 112) zu der Annahme geführt, dass die Stengel der Schlingpflanzen eine Reizbarkeit besässen. Dieser Reizbarkeit zu Folge sollte das Wachsthum auf der berührten Seite geringer werden als auf der entgegengesetzten.

Dutrochet[1]), der, anscheinend ohne die Arbeiten von Palm und Mohl zu kennen, die Thatsache, dass die Nutation, das Winden und gewöhnlich auch die Torsion bei jeder Art die nämliche Richtung haben an einer Anzahl von Arten beobachtete, zeigte zugleich, dass diese Richtung auch mit der der Blattstellungsspirale, wo eine solche gefunden wird, übereinstimmt. Er machte weiter die Beobachtung, dass bei Solanum Dulcamara an ver-

1) Dutrochet, Comptes rendus 1844 XIX. p. 295; Ann. Sc. nat. 3. Serie II. p. 163.

schiedenen Stengeln eine verschiedene Richtung der Windungen auftritt, dass aber dennoch an jedem einzelnen Sprosse die Richtung der Nutation, der Windung, der Torsion und der Blattstellungsspirale die nämliche ist.

Die constante Gleichheit dieser vier Richtungen beweist, nach ihm, dass sie von der nämlichen Ursache abhangen (Cpts. rendus, l. c. S. 302): »qu' ils sont produits par la même force intérieure et vitale, dont l'action est révolutive autour de l'axe de la plante«. Die Neigung, sich zu winden, sei von vornherein in der Pflanze gegeben; in den meisten Fällen aber ist die Berührung mit einer Stütze nöthig, um das Winden selbst auszulösen.[1])

Als später von LÉON[2]) eine Varietät von Phaseolus multiflorus entdeckt wurde, in der die Richtung der Torsion constant derjenigen der Windungen entgegengesetzt ist, und die von PALM gefundenen Ausnahmen von der constanten Richtung der Torsion in gewundenen Stengeln bestätigt wurden, verlor das Zusammenfallen der Torsionsrichtung mit der Richtung der Nutation und der Windungen einen grossen Theil ihrer Wichtigkeit.

Die falsche Ansicht MOHL's über die Ursache der kreisförmigen Bewegungen wurde zuerst von DARWIN (l. c. S. 5.) widerlegt, und dadurch seine Annahme eines Reizes ihrer Nothwendigkeit beraubt. Durch Eingriffe, welche bei den Ranken als Reiz auftraten, gewann DARWIN für sich die Ueberzeugung, dass den Schlingpflanzen keine Reizbarkeit zukomme, schloss aber dadurch die Möglichkeit einer Reizwirkung durch dauernde Berührung nicht aus. Er betrachtete die Windungen als die directe Folge der Nutation, in dem er die Schlingpflanzen mit einem Tau verglich, das rasch in einem Kreise umhergeschwungen plötzlich durch eine Stütze zurückgehalten wird und sich dadurch um diese schlingt.[3]) Dieser Vergleich war aber nicht im Stande, eine deutliche Erklärung von dem Winden zu geben, und da die MOHL'sche Annahme einer Reizbarkeit, wenn sie auch den Beweis ihrer Nothwendigkeit durch die Erkenntniss der Nutation verloren hatte, doch nicht von DARWIN als unmöglich dargethan, oder durch directe Versuche widerlegt worden war, blieb diese bis jetzt die herrschende, und

---

1) l. c. S. 202. »La disposition à l'enroulement spiralé existait dans la tige volubile, avant que cet enroulement existât« und S. 303: »On ne peut nier que le contact des supports n'ait de l'influence pour determiner les tiges volubiles à s'enrouler sur eux en spirale«.

2) LÉON, Bull. Bot. Soc. d. France T. V. 1858 p. 356; citirt bei DARWIN, l. c. S. 5.

3) S. 9: »If a man swings a rope round his head, and the end hits a stick, it will coil round the stick, according to the direction of the swinging rope; so it is with twining plants, ... «.

wurde sie auch in der 1. und 2. Auflage des Lehrbuchs der Botanik von Sachs vertreten. [1])

Ausser seinen Hauptbeweis führt Mohl hauptsächlich noch zwei Thatsachen als Stützen für seine Theorie der Reizbarkeit an. Erstens weist er darauf hin, dass die kreisförmige Bewegung (Nutation) der Sprossgipfel auch bei nicht schlingenden Arten beobachtet wird (Pisum sativum, Lathyrus odoratus, Passiflora) wenn auch nicht in einem so hohen Grade wie bei den Schlingpflanzen. Wenn nun diese Betrachtung auch zeigt, dass sich das Winden aus der Nutation nicht im Allgemeinen, sondern nur unter bestimmten Bedingungen erklären lassen wird, so reicht sie doch zum Beweis der Reizbarkeit nicht hin. Zweitens hebt Mohl hervor, dass den gewundenen Stengeln der Schlingpflanzen die starken Torsionen der nicht windenden, grade aufwärts wachsenden Sprosse fehlen. Diese Thatsache lässt sich aber viel einfacher durch die mechanische Verhinderung erklären, welche der gewundene Zustand des Stengels auf die Ausbildung dieser Torsion ausübt. In den jüngeren, weicheren Theilen des Stengels sind die inneren Ursachen der Torsion immer nur wenig stark entwickelt, und werden in den meisten Fällen von äusseren Torsionsursachen überwunden, in den älteren sich selbstthätig und kräftig tordirenden Stengeltheilen kann aber die schon weiter vorgeschrittene Ausbildung des Holzkörpers in dem gewundenen Zustand die Entstehung von Torsionen bedeutend erschweren oder gänzlich verhindern. In wie weit diese Betrachtung zu einer Erklärung der Mohl'schen Beobachtung führt, mag einstweilen unentschieden bleiben; sie zeigt aber, dass die Annahme einer Reizbarkeit zu der Erklärung vorläufig noch ganz unnöthig ist.

Die Versuche, welche von Darwin über die Reizbarkeit angestellt wurden, und welche diesen Forscher zu der Ueberzeugung der Nicht-Existenz dieser Reizbarkeit führten, waren hauptsächlich die folgenden: Darwin (l. c. S. 10) rieb die nutirenden Sprossgipfel mehrerer Schlingpflanzen stärker als zum Auslösen einer Reizbewegung bei den Ranken nöthig ist, und band einen leichten gabelig verzweigten Holzzweig an solche Gipfel, so dass dieser mit ihnen im Kreise herumgeführt wurde, aber ohne dadurch Windungen zu bekommen. Diese Versuche zeigen zwar, dass solche Ursachen nicht im Stande sind als Reiz zu wirken; aber nicht, dass andere Ursachen, zumal dauernde einseitige Berührung nicht als Reiz wirken können. Ebenso wenig würde die schon von Mohl (l. c. S. 126) gemachte Beobachtung, dass Schlingpflanzen, welche in der falschen Richtung künst-

1) Man sehe auch: Sachs, Handbuch d. Exp. Phys. 1865 S. 510. und Hofmeister, Die Lehre von der Pflanzenzelle S. 309. Die von Hofmeister betonte Angabe, dass die Nutation in den windenden Theilen vernichtet sei, ist nicht zutreffend, wie in dem Abschnitte über die Nutation der Spitze schlingender Sprosse näher ausgeführt werden soll.

lich um Stützen gewunden und festgebunden worden sind, oberhalb der Ligatur wieder ihre normale Windungsrichtung annehmen, etwas beweisen, da ja beim Anbinden ein Druck auf zwei gegenüberliegende Seiten stattfindet. Wenn es sich darum handelt, durch directe Versuche über die Existenz oder Nicht-Existenz einer Reizbarkeit zu entscheiden, so ist es Aufgabe solcher Versuche, eine dauernde einseitige Berührung, mit oder ohne Druck der Pflanze gegen die sie berührende Stütze herzustellen; mit andern Worten, man muss erstens die bei der Nutation vorangehende Seite dauernd eine Stütze berühren und sich an diese andrücken lassen, ohne dabei die Nutation selbst durch die Unbeweglichkeit der Stütze aufhören zu machen, und zweitens muss man eine Stütze dauernd gegen die bei der Nutation hintere Seite drücken lassen. Zumal der letzere Versuch ist, meiner Meinung nach, entscheidend: krümmt sich der Stengel nicht gegen diese Stütze concav, und windet er sich nicht um sie (was selbstverständlich in der falschen Richtung geschehen müsste), so beweist der Versuch, dass nicht eine dauernde Berührung oder ein dauernder einseitiger Druck die berührte Seite zu langsamerem, die gegenüberliegende zu stärkerem Wachsthum reizt, sondern dass die Krümmung von ganz anderen Ursachen abhängt.

Es lässt sich gegen diese Folgerung nicht einwenden, dass vielleicht nur eine einseitige Reizbarkeit vorhanden sein könnte, indem nur die bei der kreisförmigen Bewegung vordere Seite die reizbare wäre. Die kreisförmige Bewegung ist eine rotirende Nutation, es geht also in jedem Augenblick eine andere Seitenlinie des betreffenden Internodiums voran; es hängt nur von der Stellung der Stütze ab, mit welcher Seitenlinie des Sprosses sie in Berührung kommt. Auch der Einwand, dass die bei diesem Versuche berührte Seite nicht dauernd die nämliche ist, hat keine Bedeutung, da dieses auch dann nicht der Fall zu sein braucht, wenn die Stütze die Nutationsbewegung des Gipfels verhindert, und von ihm umschlungen wird. Ausführlicheres hierüber wird man in den betreffenden Abschnitten finden.

Die einfachste Art, diese Versuche anzustellen ist diese, dass man die Stütze an den einen Arm einer Drehwaage befestigt, deren Rotationsachse mit der Verlängerung der vertikalen Achse der Nutationsbewegung zusammenfällt. Ein kleines Gewicht am unteren Ende der Stütze vermindert ihre Beweglichkeit, an den andern Arm bringt man ein Gegengewicht an. Bei hinreichend langem Aufhängefaden (ich benutzte einen von 80 Cm. Länge) kann der durch die Torsion dieses Fadens ausgeübte Druck der Stütze gegen den nutirenden Gipfel längere Zeit hindurch sehr constant sein. Ich habe eine Anzahl dergleichen Versuche mit Phaseolus multiflorus gemacht; die Pflanze und der ganze Apparat standen in einem geeigneten Glaskasten, um jeder Bewegung der Waage durch Luftströme vorzubeugen. Ich will die betreffenden Versuche nicht ausführlich beschrei-

ben, da ich sie nur zur weitern Bestätigung einer sonst begründeten Ueberzeugung gemacht habe, sondern nur ihre Resultate kurz mittheilen. Drückte die Stütze (ein Eisendraht von 1.5 Mm. Dicke) auf die Vorderseite des nutirenden Gipfels, so geht bei geringem Drucke die Nutation Tage lang ungestört vor sich; der Gipfel schiebt also die Stütze immer vor sich her; bei grösserem und rascher steigendem Drucke machte der Gipfel nur $^{1}/_{4}$ bis $^{1}/_{2}$ Umkreis und wand sich dann um die Stütze. Drückte die Stütze hingegen auf die Hinterseite des nutirenden Gipfels, so geht auch hier bei geringem Drucke die Nutation ungestört vor sich; die Stütze folgt also hier der kreisförmigen Bewegung des Gipfels; bei grösserem Drucke aber (wenn der Gipfel z. B. anfangs um 180° durch die Stütze fortbewegt war), findet keine Nutation statt, sondern streckt sich der Gipfel grade, wobei er sich von der Stütze befreit. Lässt man einen solchen Gipfel unbelästigt, so senkt er sich nach einigen Stunden und fängt seine gewöhnlichen Nutationen wieder an.

Es folgt aus dieser Discussion, dass die von Mohl und Andern beigebrachten Argumente die Nothwendigkeit der Annahme einer Reizbarkeit bei den Schlingpflanzen nicht erwiesen haben, dass hingegen die directen Versuche eine solche Reizbarkeit wenigstens sehr unwahrscheinlich machen.

Die Arten der Gattung Cuscuta verhalten sich ganz anders als gewöhnliche Schlingpflanzen, indem sie eine ausgesprochene Reizbarkeit haben, welche nicht nur Krümmungen um die Stütze herum veranlasst, sondern auch das Dickenwachsthum und die Entstehung der Haftwurzeln beeinflusst, und indem sie nicht nur um vertikale oder fast vertikale, sondern um Stützen jeder beliebigen Richtung winden können, und in ihren nichtwindenden Stengeln keine Torsion entsteht.[1]) Nach diesen Thatsachen verhalten sich die Stengel der Cuscuta-Arten physiologisch mehr den Ranken als den Schlingpflanzen ähnlich[2]); sie werden deshalb in der vorliegenden Arbeit nicht weiter berücksichtigt.

Verhinderung der Nutation als Ursache der Entstehung der Schraubenwindungen.

Wenn also, nach dem Vorhergehenden, das Winden ohne Reizung entstehen soll, so ist die erste zu beantwortende Frage die nach der wirklichen Ursache dieser Erscheinung. Die Versuche zur Beantwortung dieser Frage habe ich hauptsächlich mit Phaseolus multiflorus gemacht, und ich will daher, zum besseren Verständniss, die Entstehung der ersten Windungen junger Pflanzen oder sonst ohne Stützen wachsender Sprosse dieser Art genauer beschreiben.

---

1) Dutrochet, Comptes rendus 1844, p. 298.

2) Siehe auch Sachs, Lehrbuch, 2. Aufl. S. 195, und Palm, das Winden der Pflanzen, 1827, S. 45—51.

Phaseolus multiflorus nutirt[1]) bekanntlich nach links; ihre Windungen sind dem entsprechend linksläufig, d. h. machen eine der Bewegung eines Uhrzeigers entgegengesetzte Bewegung und steigen gleichzeitig aufwärts. Wenn man neben einem nutirenden Gipfel einer solchen Pflanze eine dünne Stütze stellt, hört die Nutation selbstverständlich auf, sobald er die Stütze erreicht hat.[2]). Die äusserste Spitze hebt sich jetzt auf der Seite der Stütze, wodurch ihre Krümmungsebene schief gestellt und der Stengeltheil mit seiner concaven Seite der Stütze angedrückt wird. Die Krümmungsebene nähert sich immer mehr einer horizontalen Lage, und indem die äusserste Spitze sich weiter erhebt, wird die Krümmungsebene wieder schief; jetzt aber ist die concave Seite der Krümmung nach oben gerichtet. Inzwischen ist die Krümmung immer stärker, d. h. der Krümmungsradius immer kleiner geworden. Es bildet also der Stengeltheil von der berührten Stelle an bis zur äussersten Spitze einen Theil eines links aufwärts steigenden Schraubenumganges, dessen Radius (bei nicht zu dicker Stütze) grösser ist als der der Stütze; der Stengeltheil ist desto weiter von der Stütze entfernt, je dünner diese ist. Weder der an die Stütze angedrückte Theil, noch die an diesen grenzende jüngere Strecke können ihre normalen, nutirenden Nutationsbewegungen machen, nur die äusserste Spitze bewegt sich anscheinend unregelmässig hin und her, und drückt sich dadurch einmal an die Stütze an, ein andermal entfernt sie sich wieder von dieser. Als ich vertikal gespannte dünne Bindfäden, oder Eisendrähte von 0,5—2 Mm. Dicke als Stützen benutzte, sah ich diese Erscheinungen am deutlichsten; in vielen Fällen machte der jüngste, der Stütze nicht angedrückte Theil eine halbe oder eine ganze Schraubenwindung von 1 bis 1,5 Cm. Durchmesser. Diese Windung war meist nur wenig aufsteigend; später wurde sie steiler und dabei enger, bis sie sich von unten ab, allmählig der Stütze anlag.

Ich wählte von einer Anzahl in Töpfen gezogener junger Pflanzen von Phaseolus multiflorus vier Exemplare aus, mit kräftigen, nutirenden Gipfeln, und welche einander möglichst ähnlich waren. Ich befestigte die Pflanzen in der Weise an vertikale Stützen, dass die untere Grenze des nutirenden Theiles genau an das obere Ende der Stütze gebunden wurde. Die Gipfel konnten also ungehindert ihre Nutationsbewegungen machen. Jetzt stellte ich Eisendrähte von 1.5 Mm. Durchmesser neben zweien dieser Gipfel; bei dem Einen auf der vordern Seite, bei dem Andern auf der

1) Eine ausführliche Beschreibung der von Sachs als rotirende Nutation bezeichneten Bewegung befindet sich im Anfang des zweiten Theils.

2) Bei solchen Versuchen thut man am Besten, nur solche Sprossgipfel auszuwählen, deren Krümmung in einer vertikalen Ebene liegt, und die complicirter gekrümmten Gipfel nicht zu benutzen; bei dem hier beschriebenen und sämmtlichen übrigen Versuchen habe ich immer diese Vorsicht angewendet.

bei der Nutation hinteren Seite, senkrecht auf. Beide berührten die Stengel leise, ungefähr im oberen Theil der Krümmung; der erstere Gipfel drückte sich durch die Nutation an diese Stütze an; der zweite würde sich von ihr entfernt haben, wurde aber mit ein wenig Gummi (welches nur seine Hinterseite berührte) an den Eisendraht angeklebt. Den zwei anderen Gipfeln gab ich horizontale gleich dicke Eisendrähte als Stützen, welche in Bezug auf den bei der Nutation beschriebenen Kreis tangential standen und den oberen Theil der Krümmung bei dem Einen von oben, bei dem Andern von unten berührten. An beide wurden die Stengel wieder mit Gummi angeklebt und Sorge getragen, dass auch hier nur die eine Seite mit diesem in Berührung kam.

Ich hatte also vier ziemlich gleiche Gipfel, alle an der nämlichen Stelle ihrer Krümmung festgehalten, in ihrer Nutation verhindert; bei jedem wurde ausschliesslich eine der vier Hauptseiten berührt; die berührte Seite war aber bei jedem eine Andere. Ich überliess nun die Pflanzen sich selber, sie standen neben einander unter gleichen Umständen in einem Zimmer bei ungefähr 20° C. und im diffusen Licht. Alle vier hoben ihre freien Spitzen auf der bei der Nutation vorderen Seite, diese krümmten sich stärker, indem die Krümmungsebene sich erst horizontal und dann schief mit der concaven Krümmungsseite nach oben stellte, und bildeten dann je eine links aufsteigende Schraubenwindung von einem halben bis einem ganzen Schraubenumgange. Irgend eine wesentliche Verschiedenheit war bis dahin in dem Verhalten dieser vier Spitzen nicht zu erkennen.

Ich habe diesen Versuch in gleicher Weise und mit gleichem Resultat mit Hopfen, also einer rechtswindenden Pflanze wiederholt. Bei Mucuna mollissima, Convolvulus italicus, Thunbergia alata und Pharbitis hispida habe ich auf der bei der Nutation hinteren Seite senkrechte Eisendrähte in der oberen Krümmungsstelle in gleicher Weise angeklebt, und ähnliche Schraubenwindungen bekommen, wie wenn die Stütze auf der Vorderseite stand, nur dass die Windungen hier nicht um, sondern neben der Stütze gebildet wurden. Thunbergia und Pharbitis bildeten in dieser Weise fast einen halben Schraubenumgang, Mucuna und Convolvulus mehr als $1^1/_2$ Windung.

Ferner habe ich die bei der Nutation obere Krümmungsstelle bei Phaseolus multiflorus zwischen zwei parallele, auf die Achse des Stengels senkrechte Eisendrähte, welche mittelst einer Feder aneinander gedrückt wurden, geklemmt, und zwar so, dass nur die in jenem Augenblick convexe und concave Seiten, nicht die beiden übrigen Seiten die Drähte berührten. Ich habe diese Stelle des Stengels in einem Versuche horizontal gelassen, in einem andern vertikal gestellt und in beiden Fällen ganz ähnliche Schraubenwindungen erhalten, wie sie um eine dünne Stütze entstehen.

Aus diesen Versuchen folgt, dass weder ein Druck auf die Vorderseite, noch überhaupt ein einseitiger Druck für das Entstehen dieser ersten

Schraubenwindung erforderlich ist; dass vielmehr **die Verhinderung der Nutation als die Ursache der Entstehung dieser Windung betrachtet werden muss.**

An die äussersten Spitzen nutirender Sprossgipfel von Phaseolus multiflorus, P. vulgaris, Pharbitis hederacea, Quamoclit luteola befestigte ich einen dünnen Faden, den ich mittelst eines kleinen Gewichtes (2,5 Gramm) über einer Rolle senkrecht aufwärts spannte. Das Gewicht reichte grade hin, um die sichtbaren Nutationsbewegungen aufzuheben. Im Verlaufe einiger Tage bildeten diese Stengel linksläufige Schraubenwindungen, welche theilweise in Torsionen übergingen, theilweise aber auch nach vollendetem Wachsthum noch als Schraubenwindungen geblieben waren. Nachdem die Versuchsstrecke, welche vor Anfang des Versuchs weder Windung noch Torsion hatte, völlig ausgewachsen war, beobachtete ich in ihr bei Phaseolus multiflorus eine Schraubenwindung und 6 Torsionsumgänge; bei Ph. vulgaris 9 Schraubenw. (bei einem anderen Exemplare 4 Schraubenw. und 7 Torsionsumg.); bei Pharbitis 5 Schr. und 8 Tors., bei Quamoclit 4 Wind. und 7 Torsionen. Bei einer Wiederholung dieses Versuchs mit fünf Exemplaren von Phaseolus multiflorus erhielt ich in allen zwar sehr starke Torsionen, aber nur in zwei Exemplaren deutlich gewundene Strecken (von bis $^1/_2$ Windung). Auch hier hatte also die Verhinderung der Nutation die Entstehung von Schraubenwindungen zur Folge.

Noch auf verschiedenen anderen Weisen habe ich durch Verhinderung der Nutation Schraubenwindungen bekommen, deren Richtung immer die nämliche war, wie die der Nutation.

Freie, nach dem Aufhören des Wachsthums bleibende Schraubenwindungen werden in der Natur nicht selten beobachtet. Sehr in die Länge gezogene Windungen an kräftigen Sprossen, welche keine Stütze gefunden hatten, sah schon Mohl (S. 105) z. B. an Aristolochia Sipho, niedrige Windungen an krankhaften Sprossen oder an Sprossen, welche aufhörten sich zu verlängern, beschrieb Darwin (S. 10) bei Akebia und Stauntonia; schöne Beispiele dazu liefern auch Menispermum und Dioscorea. Dass in diesen letzteren Fällen wirklich, wie Darwin meint, eine Verminderung des Wachsthums zu der Bildung dieser eigenthümlichen Windungen Veranlassung giebt, kann man aus dem ähnlichen Verhalten abgeschnittener nutirender Sprossgipfel schliessen. Solche Sprossgipfel machen unter günstigen Umständen ihre Nutationen 1—2 Tage lang in normaler Weise, obgleich langsamer als sonst, dann aber fangen sie an sich schraubig aufzurollen, und wachsen dann so fort, bis das Wachsthum in ihnen überhaupt erlischt. Ein abgeschnittener Sprossgipfel von Quamoclit luteola bildete z. B. $2^1/_2$ freie Schraubenumgänge, deren innerer Durchmesser etwa 6 Mm. betrug; auch bei anderen Arten habe ich die nämliche Erscheinung mehrfach beobachtet. Ob die Erklärung, welche Darwin von diesem Einflusse der Wachsthumsverminderung giebt, die richtige ist, möchte ich vorläufig noch nicht entscheiden.

. Strecken der Windungen und Druck auf die Stütze.

Es ist eine allgemeine Erscheinung bei Schlingpflanzen, dass sie nicht bis zu ihrer Spitze der Stütze angedrückt sind, wenigstens nicht wenn die Dicke der Stütze eine gewisse Grösse nicht überschreitet. Lässt man Schlingpflanzen der verschiedensten Arten sich um senkrecht gespannte Bindfäden winden, so findet man fast immer die Spitze von der Stütze entfernt und zwar entweder in grader Linie abstehend, oder in einem grösseren oder kleineren Bogen, dessen Concavität der Stütze zugekehrt ist. Bei Calystegia Sepium beobachtete ich Spitzen solcher sich an dünnem Bindfaden hinaufschlingender Stengel, welche etwas mehr als einen Schraubenumgang mit 1—1,5 Cm. Durchmesser bildeten, dessen Höhe fast = 0 war. Beim weiteren Wachsthum wurde der Durchmesser kleiner und nahm die Höhe des Umganges zu, wodurch der Stengel sich der Stütze andrückte. So z. B. auch bei Quamoclit luteola, Phaseolus multiflorus, Pharbitis hispida, Convolvulus Scammonia.

Zwischen diesen freien Windungen der jüngsten Theile schlingender Stengel und den freien Schraubenwindungen in ihrer Nutation verhinderter Spitzen war es mir nicht möglich einen wesentlichen Unterschied aufzufinden. Bei dickeren Stützen ist das freie Ende schlingender Stengel kleiner als bei dünneren, ja sie können bis zur äussersten Spitze der Stütze angedrückt sein. Dieses rührt einfach davon her, dass die Stütze ein Hinderniss für die völlige Ausbildung der freien Windungen bildet; indem diese ihren Durchmesser kleiner zu machen suchen, drücken sie sich der Stütze an. Diese jüngsten Windungen unterscheiden sich, wie von Darwin (l. c. S. 11) bemerkt wurde, von der älteren dadurch, dass sie sehr niedrig sind; bei dem weiteren Längenwachsthum strecken sich die Windungen und entfernen sich dadurch mehr von einander.

Schon Mohl fand, dass Schlingpflanzen einen Druck auf die Stütze ausüben; er schloss dieses daraus, dass die Stengel, wenn man als Stütze einen senkrecht gespannten Bindfaden anwendet, die grade Richtung des Bindfadens durch den Druck, den sie auf ihn ausüben, verändern, so dass er ebenfalls, wie der um ihn geschlungene Stengel die Richtung einer Schraubenlinie annimmt (Mohl, l. c. S. 113). Auch bei dickeren Stützen kann man diesen Druck leicht beobachten. Von Keimpflanzen von Phaseolus multiflorus, welche sich um cylindrische 9 Mm. dicke Holzstäbe gewunden hatten, entfernte ich vorsichtig den noch wachsenden Theil von dieser Stütze und führte ähnliche, aber nur 5 Mm. dicke Stäbe als Achse in ihre Windungen; die Windungen schlossen sich diesen dünneren Stützen sogleich eng an. Sie hatten also vorher auf die dickeren Stützen einen entsprechenden Druck ausgeübt.

Bringt man in die Achse von Windungen, welche um eine dicke Stütze gemacht wurden, nach Entfernung dieser, einen dünnen gespannten Faden, so schliessen sich die Windungen nicht sogleich dieser neuen

Stütze an. Bei ihrem weiteren Längenwachsthum strecken sie sich aber und drücken sich der neuen Stütze an. Hätte man die Stütze entfernt, ohne eine dünnere an ihre Stelle zu bringen, so würde der betreffende Theil des Stengels sich ganz grade gestreckt haben, indem die Windung sich in eine Torsion veränderte (Darwin S. 12). Zum grossen Theil wenigstens wird diese Erscheinung selbstverständlich durch den Geotropismus verursacht.

Das Strecken der jüngsten, ihrer dünnen Stütze noch nicht anliegenden Spitzen schlingender Stengel geschieht in ganz gleicher Weise. Auch hier kann, man durch Entfernung der Stütze den betreffenden Theil wieder ganz grade werden lassen, nur ist zu bemerken, dass er seinem Alter entsprechend sogleich anfängt rotirende Nutationsbewegungen zu machen.

In ähnlicher Weise geschah auch das Strecken derjenigen Schraubenwindungen, welche sich in den Seite 324 beschriebenen Versuchen gebildet hatten, nachdem auf irgend eine Weise die Nutationsbewegung verhindert worden war. Ich machte mit Tusche auf der Aussenseite dieser Windungen vor dem Strecken eine schwarze Linie, wodurch es gelang, den Uebergang der Windung in eine Torsion zu beobachten (Phaseolus multiflorus, Humulus Lupulus). Da es aber noch verschiedene andere Ursachen giebt, welche ebenfalls Torsionen herbeizuführen suchen, entspricht die Torsion nach beendigtem Strecken nicht immer genau den früheren Windungen. Ich liess ferner solche Sprossgipfel sich grade strecken, nachdem ich einen dünnen Eisendraht senkrecht in die Mitte der Windungen gestellt hatte; indem die Windungen steiler und enger wurden, legten sie sich der Stütze an. So z. B. Convolvulus italicus in zwei Windungen, Mucuna mollissima in einer halben und Phaseolus multiflorus in einer ganzen Windung. Auch einer Windung, welche in dem S. 325 mitgetheilten Versuch mit Phaseolus multiflorus dadurch entstanden war, dass ich die Nutation durch einen über einer Rolle geführten, mittelst Gewicht gespannten Faden verhinderte, gab ich einen dünnen Eisendraht als Stütze, sie legte sich in einiger Zeit dieser dicht an, und die vom Faden befreite Pflanze schlang sich weiter an diese Stütze hinauf.

Es ist also eine allgemeine Erscheinung der Windungen kräftig vegetirender Sprosse, dass sie zuerst wenig steil sind, dann sich strecken und je nachdem sie dabei eine Stütze finden oder nicht, ganz grade werden, oder sich dieser Stütze fest andrücken.

Die in diesem und dem vorhergehenden Abschnitte angeführten Thatsachen beweisen, dass es zwischen den normalen, um Stützen sich bildenden Windungen und denjenigen, welche bei künstlicher Verhinderung der Nutationsbewegung entstehen, im Allgemeinen keinen wesentlichen Unterschied giebt. Sowohl bei ihrer Entstehung als bei ihrem weiteren Wachsthum verhalten sie sich unter gleichen Umständen gleich.

Verhalten etiolirter Stengel von Dioscorea Batatas.

Es wird hier vielleicht der beste Ort sein eine Beobachtung einzu-

schalten, welche auch auf eine Beziehung zwischen der Nutation und dem Winden hinweist.

Bekanntlich wurde von DUCHARTRE in den Comptes rendus (T. LXI. 1865 p. 1142) die Beobachtung mitgetheilt, dass Dioscorea Batatas[1] und Mandevillea suaveolens im Dunklen nicht winden. Demzufolge wären diese beiden Arten die einzigen, bis jetzt bekannten, welche das Licht für das Winden bedürfen. Bei der Beschreibung der Versuche sagte aber DUCHARTRE, dass Pflanzen, welche aus dem Licht in's Dunkle gebracht wurden, dort noch einige Zeit zu winden fortfuhren und erst später senkrecht neben den ihnen gegebenen Stützen aufwärts wuchsen. Ich habe mit Dioscorea Batatas diese Versuche DUCHARTRE's wiederholt. In fortwährender Dunkelheit gezogene Pflanzen wuchsen neben den Stützen, an welche sie von Zeit zu Zeit angebunden wurden, bis zu einer Länge von 1,3 resp. 1,5 M. senkrecht aufwärts, und zeigten keine Spur von spiraligen Windungen. Im Licht gezogene und um Stützen schlingende Pflanzen brachte ich in einen völlig dunklen Raum; sie machten noch eine bis zwei Windungen um ihre Stütze; andere beim Verfinstern noch nicht gewundene Pflanzen umschlangen die ihnen gegebenen Stützen in der Dunkelheit; nachher aber wuchsen sie senkrecht neben diesen aufwärts. DUCHARTRE's Beobachtungen bestätigten sich also völlig. Bei dem Herausnehmen der vorher im Licht gezogenen Exemplare aus dem dunklen Raum sah ich, dass die Stengel, so weit sie sich noch gewunden hatten, deutlich, wenn auch blass-grün waren, oberhalb der Stelle aber, von welcher ab sie senkrecht aufwärts gewachsen waren, war keine Spur von grüner Farbe zu erkennen. Dem entsprechend muss ich der DUCHARTRE'schen Beobachtung eine andere Deutung geben: Dioscorea Batatas macht keine Ausnahme von der Regel dass Schlingpflanzen auch im Dunklen schlingen können; etiolirte, in fortwährender Dunkelheit gezogene Exemplare und Sprosse von Dioscorea entbehren aber das Vermögen zu Winden gänzlich.

Wahrscheinlich verhält sich Mandevillea suaveolens in ähnlicher Weise. Da, wie von SACHS (Bot. Ztg. 1865, S. 119) gefunden wurde, andere Schlingpflanzen auch im völlig etiolirten Zustand schlingen können (Phaseolus multiflorus, Ipomaea purpurea) ist hier allerdings ein Unterschied zwischen den verschiedenen Arten von Schlingpflanzen vorhanden.

Für meinen Zweck war es nun eine wichtige Frage zu entscheiden, ob der Gipfel dieser Sprosse, in denen durch Etiolement und fortwährende

1) Dioscorea Batatas windet nach links; die übrigen Arten dieser Gattung aber, welche ich die Gelegenheit hatte zu untersuchen (D. sativa, D. villosa, D. discolor und D. versicolor) nach rechts; diese Beobachtung füllt die Lücke aus, auf welche DARWIN (l. c. S. 20) aufmerksam machte, dass zwar Familien mit in verschiedener Richtung windenden Gattungen, und Arten mit in verschiedener Richtung windenden Individuen, aber keine Gattungen mit in verschiedener Richtung windenden Arten bekannt seien.

Verdunkelung das Vermögen zu schlingen sich nicht entwickelt hat, unter diesen Umständen Nutationsbewegungen zeigen oder nicht. Ich beobachtete deshalb drei kräftig entwickelte, in Töpfen gezogene, völlig etiolirte Sprosse, während zweier Tage bei einer Temperatur von 25—27° C. und während mehrerer Tage bei einer Temperatur von 20—25° C. Durch einen an einem Holzstabe befestigten Zeiger wurde der Stand der äussersten Spitze im Raume genau angegeben; und obgleich die Sprosse während der Zeit um mehrere Mm. wuchsen, war es nicht möglich irgend eine rotirende Nutationsbewegung zu beobachten. Längere Zeit hindurch zeigte sich gar keine Bewegung der Gipfel, dann zeigte sich wieder eine ausserordentlich langsame unregelmässige Nutationsbewegung. Grüne Sprossgipfel von D. Batatas nutiren hingegen sowohl im Lichte als auch in der Finsterniss, und zwar genau rotirend. Ausgewachsene grüne, nicht gewundene Stengel sind stark tordirt, die völlig etiolirten zeigen aber keine oder nur geringe Spuren von Torsion.

Dieser Mangel der rotirenden Nutation und der Torsion in den etiolirten Dioscoreen ist um so auffallender, als bekanntlich im Allgemeinen sonst grade bei etiolirten Pflanzen die Nutationen und Torsionen am stärksten hervortreten.

Der etiolirte Zustand erlaubt den Sprossen von Dioscorea Batatas also weder rotirende Nutation, noch Winden, noch Torsion.

Welche Seite wird zur Innenseite bei der ersten Windung?

Nach der Mohl'schen Auffassung der kreisförmigen Bewegung der freien Gipfel der Schlingpflanzen, wäre immer dieselbe Seite die bei dieser Bewegung vorangehende. Nur diese könnte normaler Weise mit einer Stütze in Berührung kommen, nur sie brauchte also reizbar zu sein. Bei der Mohl'schen Ansicht genügt also die Annahme einer einseitigen Reizbarkeit. Nachdem nun Darwin nachgewiesen hat, dass die kreisförmige Bewegung eine Nutation ist, dass also immer eine andere Seitenlinie vorausgeht, entsteht die Frage, ob nun auch jede Seitenlinie zur Innenseite der Schraubenwindungen werden kann. Die Beantwortung dieser Frage entscheidet bei der Discussion über die Reizbarkeit zwischen der Zulässigkeit der Annahme einer einseitigen oder einer allseitigen Reizbarkeit. Ich habe hierüber die folgenden Versuche angestellt.

Eine junge im Topfe erwachsene Pflanze von Wisteria frutescens wurde so an eine senkrechte Stütze gebunden, dass der obere, im Kreise nutirende Theil über das Ende der Stütze frei hinausragte. Einige Zeit hindurch beobachtete ich die nach links gehenden rotirenden Nutationen, indem am Anfang des Versuchs eine schwarze Längslinie mit Tusche auf die dermalige convexe Seite aufgetragen war. Diese Seite wurde bald zur vorderen, dann zur unteren, dann zur hinteren und nach einem Nutationsumgange wieder zur oberen. Für jeden Umgang brauchte der Gipfel im Mittel fünf Stunden. Die Krümmung lag fast immer genau in einer ver-

tikalen Ebene. Nach einiger Zeit wurde eine zweite Stütze neben der Pflanze aufgestellt, der Gipfel umschlang diese in ungefähr einer Windung; jetzt wurde eine neue schwarze Längslinie auf der Aussenseite dieser Windung aufgetragen, die beiden Grenzen der Windung markirt und die Stütze entfernt. Die Windung glich sich aus, und der noch wachsende Theil fing seine normalen Nutationen wieder an. Die Stütze wurde nun an einer Seite des Stengels gestellt, wo eine andere Seitenlinie bei der Nutation voranging als im ersten Falle; die Pflanze umschlang die Stütze und dabei bildete jetzt die vorher äussere, durch die letzte schwarze Linie bezeichnete Seite die Innenseite der neuen Windung an der Stelle, wo die Pflanze die Stütze zuerst berührte. Wäre von einem Reize die Rede, so wäre also hier auf dem nämlichen Querschnitt die vorher äussere Seite bei dem zweiten Versuche die gereizte.

An in Töpfen erzogenen, fast bis zu der Spitze ihren Stützen angedrückten Exemplaren von Convolvulus italicus und Ipomaea bona nox wurde die Aussenseite der Windungen des noch wachsenden Stengeltheils durch eine schwarze Längslinie bezeichnet und dann die Pflanze sammt den Töpfen in umgekehrter Lage aufgestellt. Der wachsende Gipfeltheil entwand und streckte sich, bog sich geotropisch aufwärts, und indem seine Spitze wieder ihre gewöhnliche rotirende Nutation machte, kam sie mit ihrer Stütze in Berührung und schlang sich an ihr aufwärts. An der Stelle der ersten Berührung wurde die durch die schwarze Linie bezeichnete Seite in zwei Versuchen zur Innenseite, in einem dritten (C. italicus) zur Unterseite der ersten Windung.

Man sieht, dass es nur davon abhängt, welche Seite zufällig, bei der ersten Berührung, die vordere bei der Nutation ist, ob eine bestimmte Seite zur äusseren oder inneren, oder zur oberen oder unteren Seite der Windung werden wird.

Entstehung von Torsionen in schon gewundenen Stengeln.

MOHL (l. c. S. 111), der die schiefe Richtung der Fasern, die Torsion, bei nichtschlingenden Stengeln genau beobachtete, giebt an, dass diese Veränderung der Richtung der Fasern nicht erfolgt, wenn sich die Schlingpflanze um eine runde Stütze (der gewöhnliche Fall) schlingt. PALM (l. c. S. 35, vergl. MOHL l. c. S. 149) dagegen behauptet, »dass in dem Verhältniss, als die Pflanze um die Stütze sich windet, sie sich auch um sich selbst windet.« Auch hob PALM (S. 19) den Umstand, dass an einzelnen Internodien die Fasern in der falschen Richtung gewunden sind, hervor; MOHL gab ihm in seiner Kritik diese Behauptung nach eigener Beobachtung zu, betrachtete diesen Fall aber als eine seltene Ausnahme (S. 149). DARWIN bestätigte die Angabe MOHL's. (DARWIN, l. c. S. 6). Um nicht-runde Stützen fand MOHL, um nicht-glatte Stützen fand DARWIN aber, dass Torsionen im Stengel gebildet werden. PALM betrachtete die Form der Stütze nicht als entscheidend, wenigstens nicht als wichtig genug, um ihrer zu erwähnen. Ich habe diese Beobach-

tungen an einer ziemlich grossen Anzahl von Stengeln von Schlingpflanzen. denen ich Glasröhren, gespannte Bindfäden oder cylindrische Holzstäbe verschiedener Dicke als Stützen gegeben hatte, wiederholt und dabei gefunden, dass zwar, wenn man nur kurze Strecken, einzelne oder nur wenige Internodien beachtet, in diesen meist kaum eine Torsion zu bemerken ist, dass aber bei der Untersuchung längerer Strecken fast überall Torsionen vorhanden sind, auch wenn die Stengel ihren Stützen an allen Punkten angedrückt sind; und zwar kommen fast überall sowohl rechtsläufige als linksläufige Torsionen vor. Wie Mohl und Darwin benutzte ich entweder die natürlichen Längslinien der Internodien oder künstliche, mit Tusche gemachte Längslinien (so z. B. bei Humulus Lupulus, Convolvulus arvensis, Calystegia Sepium, Quamoclit luteola u. v. A.). Ich beobachtete diese Torsion nicht nur in den ersten Windungen, welche die Pflanzen um die ihnen gegebenen Stützen machten, sondern auch nachdem sie schon eine ganze Reihe von Windungen gebildet hatten.

Allerdings fehlen bei Pflanzen, deren nicht schlingende Stengel sich sehr stark tordiren (z. B. Humulus, Calystegia, Quamoclit), diese starken Torsionen in den windenden Theilen, wodurch man bei einer Betrachtung der Grenze von windenden und nicht windenden Stengeltheilen solcher Arten leicht zu der Meinung gelangen würde, dass der gewundene Theil gar nicht tordirt sei. Die Torsionen der gewundenen Stengeltheile sind schwach gegenüber den nicht gewundenen, fehlen aber nicht.

Diese Torsionen können im Allgemeinen entweder in der freien, von der Stütze abstehenden Spitze entstehen, oder in den schon gewundenen Theilen des Stengels. Dass das erstere nicht der Fall ist, ergiebt sich daraus, dass immer die freie Spitze, und meist eine mehr oder weniger lange, schon gewundene Strecke keine Torsion zeigt. Es muss demnach die Torsion in dem schon gewundenen noch wachsenden Theile des Stengels stattfinden. Die directe Beobachtung bestätigt dieses: An Stengeln, welche sich um cylindrische, 1 Cm. dicke Holzstäbe wanden, machte ich im wachsenden Theil eine schwarze Linie mit Tusche auf der dermaligen Aussenseite der Windungen; nach einem oder mehreren Tagen lag die Linie an dem ältesten Theile meist noch aussen, an den jüngeren bildete sie aber eine Spirale um die Achse des Stengels, stellenweise auf der Innenseite oder auf der Ober- oder Unterseite der Schraubenwindungen liegend.

In den meisten, nicht in allen Fällen ist diese entstehende Torsion in ihrer Richtung den Windungen entgegengesetzt, bei linkswindenden Arten ist sie also meist eine rechtsläufige. So z. B. bei Quamoclit coccinea, Q. luteola, Pharbitis hispida, P. hederacea, Calystegia dahurica, Phaseolus multiflorus. Um eine Vorstellung von der Grösse dieser Torsion zu geben, theile ich mit, dass in einem Versuche mit Quamoclit coccinea die zuerst überall aussen liegende schwarze Linie nach einigen Tagen in zwei Win-

dungen von dem älteren Theilen aufwärts betrachtet von der Aussenseite der Windung auf die Oberseite, von dieser auf die Innenseite und durch die Unterseite wieder auf die Aussenseite kam, also etwas mehr als einen Torsionsumgang machte; bei Q. luteola sah ich auf diese Weise einen Torsionsumgang auf einem Windungsumgang gebildet werden.

Wie die directen Versuche mit Wisteria, Ipomaea und Convolvulus beweisen auch diese Thatsachen, dass die Innenseite der Windungen nicht ein morphologisch bestimmte, sondern eine wechselnde, und von zufälligen Umständen abhangende ist. Es besteht daher auch der angebliche wesentliche Unterschied zwischen runden und eckigen Stützen nicht, sondern die Sachen verhalten sich, wie es schon von Palm angegeben wurde.

Aus inneren Ursachen entstehende Torsion.

Die Ursachen der in den Stengeln der Schlingpflanzen auftretenden Torsionen sind zweierlei Art. Gewisse Torsionen sind von äusseren Einflüssen unabhängig und werden also durch innere Wachsthumsursachen bedingt; bei anderen gelingt es aber äussere Ursachen nachzuweisen. Die Torsion aus innerer Ursache entwickelt sich am einfachsten und klarsten bei den nicht windenden Sprossen, wo sie an den meisten Arten leicht zu beobachten ist und schon von Mohl und Palm beschrieben wurde.

Wie von Darwin (l. c. S. 5) angegeben wurde, fängt die Torsion in den ältesten noch nutirenden Theilen des Stengels an; sie setzt sich nach dem Aufhören der Nutation in dem betreffenden Theile fort. Die Unabhängigkeit der Torsion und der Nutation von einander wurde von Palm (S. 18, vergl. Mohl, l. c. S. 146) und Darwin (l. c. S. 5) aus ihren Beobachtungen abgeleitet; directe Versuche, welche ich hierüber angestellt habe, haben diesen Schluss vollkommen bestätigt.

An abgeschnittenen und in Wasser gestellten Sprossgipfeln von Phaseolus multiflorus, Apios tuberosa, Calystegia dahurica und Convolvulus Scammonia wurde der Stengel an der Grenze des älteren tordirten und des torsionsfreien, jüngeren Theiles zwischen den beiden, 2 Cm. breiten Korkplatten eines Halters festgeschraubt und vertikal gestellt. Die oberhalb dieser Stelle befindlichen Gipfel machten ihre gewöhnlichen Nutationen, deren Beobachtung durch einen beim Anfang des Versuches auf der convexen Seite gemachte schwarze Längslinie erleichtert wurde. Alle hatten schon mehrere Male den ganzen Kreis durchlaufen, oder doch (Apios, Calystegia) einen grossen Theil des Kreises beschrieben, ehe eine Spur von Torsion oberhalb des in den Korkplatten festgeklammerten Theiles sichtbar wurde. Später fing der unterste Theil der freien Strecke an sich zu tordiren, doch nur in sehr geringem Maasse; ein solcher Sprossgipfel von Phaseolus hatte z. B. in 24 Stunden acht Male den ganzen Kreis beschrieben, sich dabei aber nur um 180° tordirt. In Uebereinstimmung mit Darwin's Beobachtungen beweisen diese Versuche die Unabhängigkeit der Nutation von der Torsion.

Dass auch umgekehrt die Torsion von der Nutation unabhängig ist, geht aus folgenden Versuchen hervor. An längeren abgeschnittenen Sprossen von Calystegia Sepium und Phaseolus multiflorus, welche in Wasser gestellt waren, wurden sämmtliche noch nutirende Theile entfernt, der übrig bleibende Theil aber unten befestigt und senkrecht aufwärts gestellt, während das obere Ende einen kleinen Zeiger trug, welcher senkrecht auf der Achse des Stengels stand. Die kreisförmige Bewegung dieses Zeigers zeigte selbstverständlich eine Vermehrung der Torsion an; sie betrug in einem Versuche bei Calystegia 420°, bei Phaseolus 290° in den ersten 24 Stunden. Diese Torsionsvermehrung erstreckte sich über eine 20 resp. 30 Cm. lange Strecke, welche zu Anfang des Versuchs schon 3 resp. $4^1/_2$ Torsionsumgänge zeigte. Auch habe ich diesen Versuch in der Weise wiederholt, dass ich den unteren Theil des nutirenden Gipfels, statt diesen zu entfernen, zwischen den Korkplatten eines Halters festklemmte und den unterhalb dieser Stelle befindlichen Theil, deren unteres Ende in Wasser tauchte, sonst nicht befestigte. Ein am unteren Ende befestigter Zeiger zeigte bei beiden Arten während 24 Stunden eine bedeutende Torsionsvermehrung, und zwar von 240° auf einer 9 Cm. langen Strecke bei Calystegia (Anfangstorsion dieser Strecke: $1^1/_4$ Umgang), von 70° bei Phaseolus (Länge der Strecke: 8 Cm., Anfangstorsion: 1 Umgang).

Diese Versuche beweisen zugleich die Unabhängigkeit dieser Torsion von äusseren Ursachen. Wie schon Anfangs erwähnt wurde, ist die Richtung dieser Torsion mit Ausnahme von einer Varietät von Phaseolus multiflorus (nach Léon, citirt bei Darwin, l. c. S. 5) immer die nämlich wie die Nutationsrichtung. (Darwin, S. 9; Mohl, l. c. S. 106.) Bei verschiedenen Pflanzen ist sie aber sehr ungleich stark; Arten, bei denen sie gänzlich fehlt, sind aber bis jetzt mit Sicherheit noch nicht bekannt geworden.

Durch das Gewicht der Endknospe entstehende Torsion.

Als eine äussere Torsionsursache habe ich bei der Aenderung der decussirten Blattstellung in die zweireihige bei den horizontalen Aesten mancher Sträucher und bei geotropischen Bewegungen im Allgemeinen die einseitige Ueberbelastung nachgewiesen.[1]) Es liess sich daher erwarten, dass die oft in einem grossen und weiten, oft nahezu horizontalen Bogen von der Stütze abstehende Spitze, welche in Bezug auf den höchsten der Stütze noch angedrückten Theil des Stengels als eine einseitige Last wirkt, Torsionen verursachen könnte. Der Versuch bestätigte diese Voraussetzung. Vier Sprosse von Calystegia Sepium waren an senkrechte Stützen gebunden; ihr ± 8 Cm. langer Gipfeltheil ragte über das obere Ende der Stützen hinaus und machte seine kreisförmigen Nutationsbewegungen; ihre Krümmung lag fortwährend in einer ihre Richtung wechselnden vertikalen

1) Im II. Hefte dieser Arbeiten S. 267, 272, 273.

Ebene. Als ich diese Bewegungen einige Zeit beobachtet hatte, zog ich auf der convexen Seite eine Längslinie mit Tusche, entfernte bei zwei Exemplaren das Blatt des ältesten nutirenden Internodiums und sämmtliche jüngere Theile und gab allen vier Exemplaren senkrechte cylindrische Holzstäbe als Stützen zum Umschlingen, indem ich diese leise an die bei der Nutation vorangehende Seite andrückte. In den vier Gipfeln berührte eine ähnliche Stelle des ältesten nutirenden Internodiums die Stütze. Nach einem halben Tag hatten sich alle dicht den 1 Cm. dicken Stützen angeschmiegt; bei den nicht verwundeten stand die Endknospe in einem freien Bogen von der Stütze ab. Bei den beiden von jeder Last befreiten Internodien war die schwarze Linie jetzt die Oberseite der Windung; bei den nicht verwundeten Exemplaren, wo die Knospenlast auf die älteren Internodien eingewirkt hatte, war die Linie zur Innenseite der Windung geworden. Es hatte also an dieser Stelle eine Drehung von 90° stattgefunden, welche selbstverständlich eine entsprechende Torsion des nächstältesten Theiles verursacht hatte.

Da das Gewicht der Endknospe immer auf die beim Winden innere Seite drückt, muss die Richtung dieser durch einseitige Ueberbelastung entstandene Torsion bei in verschiedener Richtung schlingenden Pflanzen eine verschiedene sein, und zwar wird sie immer den Windungen, also auch der normalen, bei nicht windenden Stengeln auftretenden Torsion entgegengesetzt gerichtet sein. Es lässt sich dies leicht geometrisch und auch ebenso leicht experimentell beweisen. Betrachtet man die Tangente zur Stütze durch die letzte Stelle, wo der Stengel die Stütze noch berührt, als die Achse, welche durch die einseitige Belastung gedreht wird, so sucht in dem Versuch mit Calystegia die Knospe, da sie auf der rechten Seite dieser Achse liegt, und durch die Schwere hinuntergezogen wird, sich in der nämlichen Richtung wie die Zeiger einer Uhr zu bewegen. Da nun selbstverständlich die dadurch entstehende Torsion beim Wachsthum allmählig an den Stengel hinaufrückt, geht die Torsion nach rechts und zugleich am Stengel aufwärts, ist also rechtsläufig. Eine Längslinie, welche Anfangs überall oben war, muss nach einiger Zeit in ihrem oberen Theile auf der Innenseite liegen, wie es der Versuch zeigte.

Es lassen sich die schon von Palm (S. 19; vergl. Mohl, l. c. S. 149) beobachteten Torsionen in der falschen Richtung, welche nach meinen Untersuchungen viel häufiger sind als Palm und Mohl (l. c. S. 149) glaubten, vor Allem aber auch die S. 331 beschriebenen, in schon gewundenen Stengeln entstehenden Torsionen, zum grössten Theil aus dieser Ursache erklären.

Andere äussere Torsionsursachen.

Eine zweite Ursache, welche in der Natur und in den Versuchen sehr häufig Torsionen, und zwar in beiden Richtungen verursacht, ist durch die Blattstellung gegeben. Es ist eine allgemeine Beobachtung, dass bei

den Schlingpflanzen die Blätter fast niemals auf der Innenseite der Spirale stehen. Wäre eine morphologische Seite überall die innere, so müsste wenigstens bei spiraliger Blattstellung von Zeit zu Zeit ein Blatt auf der Innenseite stehen, und da dieses nicht stattfindet, so muss es dafür eine bestimmte Ursache geben.[1]) Bei älteren Stengeln ist es nicht mehr möglich diese Ursache zu entdecken, in den noch wachsenden sich schlingenden Sprossgipfeln gelingt dieses aber leicht. In diesen kommt es gar nicht selten vor, dass ein Blatt genau auf der Innenseite der Spirale steht; es verhindert dadurch die betreffende Windung sich bei ihrem Strecken ohne Weiteres der Stütze anzulegen. Dieses hat zur Folge, dass das Blatt gegen die Stütze gedrückt wird. Ist nun das Blatt nicht genau gegen die Achse der Stütze gerichtet, oder wird es durch irgend eine geringe Ursache nur etwas aus dieser Richtung heraus bewegt, so muss es durch den genannten Druck neben der Stütze hin, entweder nach rechts oder nach links, seitwärts gleiten, was nur geschehen kann, wenn der obere Theil seines Internodiums eine entsprechende Torsion erfährt. An im Zimmer in Töpfen gezogenen Pflanzen, zumal beim Hopfen, hatte ich vielfach Gelegenheit, diesen Vorgang genau zu verfolgen; einige Male schnitt ich das betreffende Blatt, sobald es dem Anschliessen der Windung hinderlich wurde, mit der Scheere dicht am Stengel ab; in solchen Fällen legte sich der betreffende Theil des Stengels ohne Torsion, oder doch ohne stärkere Torsion als die über und unter ihm befindlichen, der Stütze an.

Noch durch andere Ursachen können zufällig oder absichtlich Torsionen in der falschen Richtung erhalten werden. Wenn ein nicht-windender Spross an eine Stütze angebunden wird, die Ligatur aber ziemlich nahe an der Endknospe gemacht wird, strebt der jüngste, schon tordirte Theil des Sprosses seine Torsion zu vergrössern. Wäre die Knospe frei, so würde er diese um ihre Achse drehen, jetzt aber kann dieses nicht stattfinden. Entweder wird die Vermehrung der Torsion dadurch unmöglich (so in mehreren Versuchen mit Phaseolus multiflorus), oder der jüngste noch weiche Stengeltheil unterhalb der Ligatur wird durch die unteren Theile gezwungen, sich in einer der gewöhnlichen entgegengesetzten Richtung zu tordiren. Eine solche Torsion ist, wie die Einrichtung der Versuche zeigt, immer auf eine kleine Strecke beschränkt. Mehrere gewöhnlich stark nach links drehende Arten von Convolvulaceen zeigten mir diese Erscheinung; bei Calystegia Sepium, z. B. erhielt ich in einem Falle eine rechtsläufige Torsion von $1^3/_4$ Windung auf einer 3, 5 Cm. langen Strecke,

1) DUTROCHET, Compt. rendus 1844, p. 301, der diese Erscheinung und die dadurch entstandene Torsion beobachtete, erklärt sie folgendermaassen: »Chez une tige enroulée en spirale sur un support, les feuilles, en se portant toutes du côté le plus éclairé, produisent par ce mouvement, dans la tige qui les porte, une torsion qui est quelquefois en sens inverse de celui de sa torsion normale.«

bei Quamoclit luteola in einem Versuche eine rechtläufige Torsion von 360°, in einer 2 Cm. langen Strecke. Oberhalb der Ligatur war die später eintretende Torsion wieder linksläufig.

Bei Calystegia Sepium gelang es mir bei Sprossen, welche ich oberhalb des schon tordirten Theiles fest an ihre Stütze gebunden hatte, durch mechanische rechtsläufige Torsion der jüngeren Theile eine bleibende rechtsläufige Torsion zu verursachen, indem ich jedesmal die Endknospe an die Stütze befestigte, um sie am Detordiren zu verhindern. Oberhalb der so erhaltenen abnormalen Torsion stellte sich aber die normale linksläufige wieder ein.

Aus diesem und dem vorhergehenden Abschnitte ergiebt sich also, dass ausser der normalen aus innerer Ursache entstehenden Torsion noch vielfach, zumal in windenden Stengeln, durch äussere Ursachen Torsionen entstehen können. Die Richtung dieser ist entweder der der normalen Torsion entgegengesetzt, oder mit ihr gleichläufig.

Nutation der Spitze schlingender Sprosse.

In den vorhergehenden Abschnitten wurde mitgetheilt, dass die Spitze von um hinreichend dünne Stützen sich windenden Schlingpflanzen immer in einem nach der Stütze concaven, meist fast horizontalen Bogen absteht (S. 326) und dass in den höchsten, schon geschlungenen Theilen der Pflanze eine Torsion stattfindet, welche der normalen, aus inneren Ursachen entstehenden Torsion entgegengesetzt gerichtet ist, und als äussere Ursache die einseitige Last der Endknospe auf die jungen torsionsfähigen Theile erkennen lässt. (S. 334) Die Combination dieser beiden Ergebnisse führt zu einem neuen Resultate.

Der Torsion der jüngsten geschlungenen Theile zufolge müsste die gebogene Spitze im Kreise herumgeführt werden, und zwar rechtsläufig, weil die Torsion selbst rechtsläufig ist. Sie müsste sich also senken, und sobald die Bewegung etwa 90° erreicht haben würde, würde die Ursache einer weiteren Torsion aufgehört haben. Da nun aber, wie die Beobachtung zeigt, die Endknospe nicht abwärts, sondern fortwährend nach innen, nach der Stütze gebogen ist, muss in der Spitze selbst eine Bewegung stattfinden, welche fortwährend der Torsion entgegenwirkt. Wie leicht einzusehen, kann diese Ursache nur eine Nutation sein, und zwar nur eine linksläufige, also der gewöhnlichen Nutation der Gipfel nicht windender Sprosse gleichgerichtete. Es ist leicht, sich von dem Vorhandensein dieser Nutation durch die Beobachtung zu überzeugen. [1]) Die Geschwin-

1) Hiermit erledigt sich auch der Einwurf Hofmeister's (Pflanzenzelle S. 309) gegen die Ansicht Darwin's, dass nur die Annahme einer Reizbarkeit das Erlöschen des Vermögens die Nutation fortzusetzen an den Contactstellen erklären kann. Es erlischt dieses Vermögen an diesen Stellen eben nicht, sondern die Wirkung der Nutation wird scheinbar durch die Torsion aufgehoben.

digkeit dieser Nutationsbewegung ist viel geringer als die der gleichen Bewegung der Gipfel nicht schlingender Sprosse; hierbei ist aber an die von Darwin (l. c. S. 8) beobachtete Thatsache zu erinnern, dass die äusserste Spitze nutirender Sprossgipfel oft eine viel langsamere Bewegung zeigt, als die älteren, noch nutirenden Internodien.

Wie leicht einzusehen ist, hängt die wirkliche Richtung der äussersten gebogenen Spitze des windenden Sprosses von dem Verhältnisse der Torsionsgeschwindigkeit und der Nutationsgeschwindigkeit ab; nur wenn diese beide gleich sind, kann die Knospe fortwährend die nämliche Lage behalten. Die Torsionsgeschwindigkeit hängt nun offenbar von dem mechanischen Moment der Endknospe, und diese von der Krümmung der Spitze ab. Die Krümmung der Spitze ist aber die Nutationskrümmung, und man sieht, dass in den betrachteten Fällen für die constante nach der Stütze concave Biegung der Spitze ein bestimmtes Verhältniss zwischen der Grösse der Nutationskrümmung und der Nutationsgeschwindigkeit erforderlich ist.

Das Winden hängt aber auf's Innigste mit dieser constanten Richtung der Spitze zusammen. Weitere Untersuchungen auf dem hier angedeuteten Weg werden wahrscheinlich zu der Entdeckung wichtiger Thatsachen für eine Theorie des Schlingens führen.

II. Allgemeiner Theil.

Die Schlingpflanzen zeichnen sich durch bestimmte, vom Wachsthum verursachte Bewegungen aus, welche bei anderen Pflanzen entweder nur in geringerem Maasse vorhanden sind, oder gänzlich fehlen. Es sind dies die rotirende Nutation, das Schlingen und die Torsion.

Der Gipfeltheil nicht windender Stengel von Schlingpflanzen, oder auch derjenige windender Stengel, nachdem sie das Ende ihrer Stütze erreicht haben, hängt in einem meist ziemlich weiten Bogen über: das Wachsthum auf der convexen Seite ist aus inneren Ursachen in jedem Augenblicke stärker, als das der concaven, sonst würde der Gipfel sich geotropisch senkrecht stellen müssen. Beobachtet man einen solchen Gipfel einige Stunden hindurch, so sieht man, dass er nicht immer nach der nämlichen Seite überhängt, sondern sich nach und nach, nach allen Seiten richtet, und dabei seine jüngsten Theile in einem Kreise herumführt. In vielen Fällen liegt die ganze Krümmung fortwährend in einer, ihre Richtung wechselnden vertikalen Ebene, und ist die von der Spitze beschriebene Linie einem Kreise sehr ähnlich; in anderen Fällen bildet der überhangende Gipfel eine mehr complicirte Curve, und weicht die beschriebene Linie mehr oder weniger von einem Kreise ab. Die Richtung dieser kreisförmigen Bewegung ist für jede Art eine constante, die meisten Schlingpflanzen bewegen ihre Gipfel nach links, der Bewegung eines Uhrzeigers entgegengesetzt.

Zieht man, während der Gipfel z. B. nach Norden überhängt, eine Längslinie mit Tusche auf der convexen Seite, so beobachtet man Folgendes. Zur Vereinfachung denke ich mir eine Art, deren kreisförmige Bewegung nach links gerichtet ist. Die Spitze geht also von Norden nach Westen. Dabei bleibt aber die schwarze Linie nicht auf der convexen Seite, sondern sie rückt allmählig seitwärts von der Krümmung, und wenn der Gipfel nach Westen gerichtet ist, liegt die Linie nach der Seite, welche im Augenblick bei der Bewegung voran geht. Nach einer weiteren Bewegung von 90°, wenn also der Gipfel nach Süden schaut, liegt die Linie auf der concaven Seite; bei einer Richtung des Gipfels nach Osten liegt sie auf der Hinterseite des sich bewegenden Gipfels, und wenn der Gipfel wieder seine ursprüngliche Stelle eingenommen hat, ist auch die bezeichnete Linie wieder zur convexen geworden. Schaut man nicht von oben, sondern von der Seite, z. B. von Süden her nach einem solchen Gipfel während einer ganzen Umdrehung, so bleibt die bezeichnete Linie immer dem Beobachter zugewendet. Es geht aus dieser Darstellung hervor, dass in jedem Augenblick eine andere Seitenlinie convex ist, also in ihrem Längenwachsthum die übrigen Seiten überwiegt. Es ist daher diese Bewegung eine Nutation. Das stärkste Längenwachsthum geht immer von einer Seitenlinie auf die nächstfolgende über, schreitet regelmässig um den Stengel herum, dadurch entsteht die kreisförmige Bewegung, die also mit dem Namen rotirende Nutation zu belegen ist.

Nicht immer ist die rotirende Nutation so einfach wie hier beschrieben. Denkt man sich, dass in verschiedenen Querschnitten des Stengels das stärkste Längenwachsthum einer Seitenlinie sich nicht mit gleicher Geschwindigkeit um den Stengel herum bewegt, so entsteht natürlich eine in verschiedenen Punkten nach verschiedenen Richtungen gebogene Linie, deren Form sich fortwährend verändert. In der Natur tritt eine solche mehr complicirte Curve sehr oft dadurch auf, dass die Geschwindigkeit der genannten Bewegung desto kleiner wird, je näher der betrachtete Querschnitt der Spitze des Sprosses liegt. Dadurch ist an den jüngeren Theilen die im Ganzen vorangehende Seite einmal concav, ein andermal wieder convex.

Bisweilen kommt es auch vor, dass der nutirende Gipfel sich grade streckt und sich nach der gegenüberliegenden Seite hinüberbiegt.

Wird an einem rotirend nutirenden Sprossgipfel einer Schlingpflanze eine Stelle des überhangenden Theils, z. B. der höchste Punkt des Bogens, durch irgend welche Ursache festgehalten, so hört selbstverständlich die normale Nutationsbewegung auf. Die freigebliebene Spitze müsste jetzt um eine durch die Achse des Stengels an der festgehaltenen Stelle gezogene grade Linie als Achse weiter nutiren, und anfänglich findet dieses auch statt: die Spitze erhebt sich auf derjenigen Seite, welche bei der Nutation voranging, bis ihre Krümmungsebene etwas über die hori-

zontale hinausgekommen ist, bis ihre Krümmung also vom Befestigungspunkte nach der Spitze zu schief aufsteigt. Man kann die von ihr gebildete Curve in diesem Augenblick als den Theil einer Schraubenwindung betrachten, deren Achse vertikal steht. Aus einer einfachen geometrischen Betrachtung zeigt sich leicht, dass diese Schraubenlinie in der nämlichen Richtung aufsteigt, in der die rotirende Nutation stattfindet. Bei den meisten Arten von Schlingpflanzen wird also diese Schraubenlinie sich zugleich im Kreise nach links und aufsteigend bewegen; eine solche Linie bezeichnet man als eine linksgerichtete oder linksläufige.

Nachdem die frei gebliebene Spitze bei ihrer rotirenden Nutation eine solche Stelle erreicht hat, dass die Linie ohne merklichen Fehler als ein Theil einer mit der Nutation gleichläufigen Schraubenlinie betrachtet werden darf, hört die normale, rotirende Nutationsbewegung dieser Spitze auf, und wächst sie in dieser Schraubenlinie weiter, und bildet, wenn keine weiteren äusseren Umstände sie beeinflussen, einen grösseren Theil einer Windung, oder sogar eine bis mehrere ganze Windungen.

Die Entstehung dieser Windungen ist unabhängig von der Weise, auf welche die Verhinderung der Nutation stattfindet. In der Natur findet diese gewöhnlich dadurch statt, dass der Gipfel eben durch seine Nutationsbewegung mit einer Stütze in Berührung gebracht wird. Da selbstverständlich die Stütze sich dabei auf der Vorderseite der Nutation befindet, werden sich die Schraubenwindungen, falls die Stütze dünn ist, um diese herum, aber zunächst in einiger Entfernung von ihr bilden; ist die Stütze dicker, so müssen sie sich ihr sogleich anlegen. Ueberschreitet die Dicke der Stütze aber eine gewisse Grösse, so kann die entstehende Windung sich ihr nicht mehr anschmiegen, sondern sie wird sich neben ihr entwickeln. Künstlich kann man irgend einen Punkt des nutirenden Gipfels auf jede Art festhalten: immer bekommt man die nämliche Schraubenwindung. Am lehrreichsten ist aber folgender Versuch. Man stellt einen graden, dünnen Eisendraht senkrecht neben der Pflanze auf und drückt ihn leise an die Hinterseite des nutirenden Gipfels. Damit dieser sich nicht von ihm wegbewege, klebt man ihn vorsichtig mit ein wenig Gummi an. Demzufolge entstehen die Windungen, die aber jetzt nicht um die Stütze herum, sondern neben ihr liegen. (Siehe Seite 324).

Diese zuerst entstehenden Windungen sind, gleichgültig ob sich eine Stütze in ihrer Mitte befindet oder nicht, wenig steil und sind darin den jüngsten Windungen um Stützen schlingender Stengel ähnlich, welche auch, wenn die Stütze hinreichend dünn ist, dieser nicht anliegen, wie die älteren Windungen es thun (S. 326 und 327).

Ich betrachte jetzt das weitere Wachsthum der gewundenen Stellen, und zwar zunächst in dem einfachsten, seltenen Fall, dass sich keine Stütze in ihrer Mitte befindet (Seite 326 und 327). In diesem Falle sieht

man, während die gewundene Strecke selbst bedeutend in die Länge wächst, die Windung steiler werden, und dabei ihren Radius verkleinern. Die Windung streckt sich, und wenn der Radius Null geworden ist, ist der Schraubenumgang in einen Torsionsumgang verändert. Der betreffende Stengeltheil steht dabei durch seinen Geotropismus senkrecht und trägt die jüngeren Theile auf seinem oberen Ende. Da für diese jetzt jede Störung der Nutation aufgehört hat, verliert sich auch in den jüngeren Theilen die Schraubenlinie und die rotirende Nutation findet wieder in normaler Weise statt.

Anders verhält sich die Sache wenn sich ein fester Körper, eine Stütze in der Achse der Windungen befindet. Da man meist nur bei Benutzung von dünnen (1—2 Mm. dicken) Stützen zu einer klaren Einsicht gelangen kann, denke ich mir eine solche in der Achse der Schraubenlinie. Zunächst hat diese noch keinen Einfluss: die betrachtete Windung wird steiler und enger, bis sie die Stütze berührt. Indem sie jetzt strebt sich weiter zu strecken, drückt sie sich der Stütze eng und fest an und schiebt sich in ihrem höheren Theil etwas an diese hinauf. Auf diese Weise legen sich immer höhere und höhere Windungen an die Stütze an; dadurch wird fortwährend die rotirende Nutation der neu sich entwickelnden jüngsten Theile verhindert, und diese bilden also fortwährend einen Theil einer Schraubenwindung mit grösserem Durchmesser als der der Stütze, also frei von dieser abstehend. So schlingt sich der Stengel immer weiter an die Stütze aufwärts, indem er durch die älteren Windungen kräftig an diese befestigt wird, bis er das Ende der Stütze erreicht. Die erste über das Ende hervorragende Windung kann sich wieder gänzlich strecken, und es fängt also wie bei Windungen, welche gänzlich ohne Stütze gebildet worden sind, bald die normale, rotirende Nutation wieder an. Es sucht, so zu sagen, die Pflanze eine neue Stütze auf.

Aus dieser Darstellung geht hervor, dass Schlingpflanzen sich nur um senkrechte oder wenig von der Vertikalen abweichende Stützen winden können.

Die dritte oben erwähnte, allgemeine Eigenschaft der Schlingpflanzen ist die Torsion oder Drehung des Stengels um seine Achse. Diese Torsion ist bei vielen Arten von Schlingpflanzen sehr leicht an der Richtung der Leisten, Haarstreifen u. s. w. auf der Oberfläche des Stengels zu erkennen: In den jüngsten Internodien laufen diese mit der Achse des Stengels parallel, in den älteren beschreiben sie mehr oder weniger steile Schraubenlinien um diese herum. In nicht windenden Sprossen ist die Torsion gewöhnlich stärker entwickelt als in windenden.

In einem ausgewachsenen tordirten Internodium ist eine solche Leiste oder Haarstreif selbstverständlich länger als die grade gebliebene Achse des Stengels, und da sie im jungen Internodium mit der Achse parallel lief, hat ihr Längenwachsthum zu irgend einer Zeit das der Achse übertroffen.

Die Fähigkeit zur Torsion entsteht also dadurch, dass eine äussere Cylinderschicht die Fähigkeit hat, aus inneren oder äusseren Ursachen (zu Ende des Längenwachsthums des betreffenden Querschnitts) stärker in die Länge zu wachsen als die inneren Theile. Je grösser diese Fähigkeit zur Torsion, je mehr Torsionswindungen unter gleichen Umständen in einer gleichlangen Strecke des Stengels entstehen werden. Diese Torsionsfähigkeit ist aber bei den verschiedenen Arten von Schlingpflanzen äusserst verschieden, und zwar zeigen im Allgemeinen die am besten windenden Arten auch die stärkste Torsion in ihren nicht windenden Sprossen.

Von dieser Torsionsfähigkeit ist die Richtung der wirklich eintretenden Torsion genau zu unterscheiden. Ist die entstehende Torsion von äusseren Ursachen bedingt, so hängt ihre Richtung selbstverständlich von diesen ab; entsteht aber eine Torsion aus inneren Wachsthumsursachen, so ist ihre Richtung eine für jede Art constante und fällt mit einer einzigen Ausnahme immer mit der der Nutation und des Windens zusammen. Diese durch innere Ursachen bedingte Torsion ist eine an nichtwindenden Sprossen klar hervortretende allgemeine Erscheinung bei den Schlingpflanzen (Seite 332). An windenden Stengeln ist die Torsion zwar eine ebenso allgemeine, wenn auch nicht so ausgeprägte Erscheinung; da sich hier mit der inneren Ursache vielfache äussere, ihr theilweise entgegenwirkende, theilweise unterstützende Ursachen combiniren, sind die Verhältnisse hier oft viel complicirter.

Eine sehr oft, vielleicht allgemein vorkommende äussere Torsionsursache ist das Gewicht der Endknospe. Die äusserste Spitze schlingender Sprosse steht, wenigstens bei dünnen Stützen, in einem grösseren oder kleineren, nach der Stütze hin concaven Bogen von der Stütze ab, dadurch wirkt das Gewicht der Endknospe als eine einseitige Belastung auf die höchsten gewundenen Theile, wodurch in diesen eine Torsion entsteht, welche immer der normalen entgestellt ist (Seite 333).

Zum Schlusse habe ich noch das Zusammenwirken der Nutation und der Torsion, sowohl bei windenden als bei nicht-windenden Stengeln von Schlingpflanzen zu besprechen. Beide Ursachen führen die übergebogene Spitze im Kreise herum. Bei nicht-windenden Stengeln wirken beide in der nämlichen Richtung, die Nutation führt die Spitze aber in demselben Zeitraume mehrere Male herum, in welchem die Torsion der älteren Theile, welche hier aus inneren Wachsthumsursachen entsteht, sie nur einen ganzen oder einen halben Kreis bewegt. Es erhöht die Torsion also die Geschwindigkeit der durch die Nutation entstehenden kreisförmigen Bewegungen der Spitze um ein Geringes (Seite 332). Bei schlingenden Stengeln wird oft die aus inneren Ursachen entstehende Torsion von der durch die einseitige Last der Endknospe verursachten gänzlich überwunden. Diese Torsion würde die gebogene Spitze in einer der Nutation entgegengesetzten Richtung herumführen; soweit meine Beobachtung reicht, halten die Nutation

und die Torsion sich aber nahezu das Gleichgewicht, so dass die Spitze mit geringen hin- und hergehenden Bewegungen, doch immer ihre concave Seite der Stütze zukehrt. Auf den ersten Blick würde man hier weder Nutation noch Torsion vermuthen, eine auf den Gipfel gemachte Längslinie läuft aber um die Achse des Stengels herum und zeigt dadurch die Existenz beider Erscheinungen leicht und deutlich an (S. 336).

Es sei mir erlaubt, die Hauptsätze, welche ich als das Ergebniss meiner Arbeit betrachte, nochmals kurz zu wiederholen:

Die Schlingpflanzen besitzen keine Reizbarkeit. Jede Längskante des Stengels kann beim Schlingen zur concaven Seite werden; im noch wachsenden Theil des windenden Stengels finden sogar sehr gewöhnlich Torsionen statt, denen zufolge auf einer bestimmten Strecke die verschiedenen Seitenlinien des Stengels successive zur concaven, die Stütze berührenden Seite werden. Die Verhinderung der rotirenden Nutation verursacht die Entstehung von Schraubenwindungen. Die Schraubenwindungen strecken sich bei ihrem weiteren Wachsthum und drücken sich dadurch einer in ihrer Mitte befindlichen Stütze an; fehlt die Stütze, so streckt der betreffende Theil sich grade. In windenden Stengeln combiniren sich mit der aus innerer Wachsthumsursache entstehenden Torsion, vielfache, von äusseren Ursachen bedingte, ihr gleich oder entgegengesetzt gerichtete Torsionen.

XI.

Abhängigkeit der Sauerstoffausscheidung der Blätter von dem Kohlensäuregehalt der Luft.

Von

Dr. Emil Godlewski.

Mit einer lithographischen Tafel.

1. Historisches.

Die Frage, in wie weit die Assimilationsthätigkeit der Blätter von dem Kohlensäuregehalte der Luft abhängt, wurde bis jetzt nicht näher untersucht. Das Wenige, was mir hierüber in der Literatur bekannt geworden, möge hier eine kurze Besprechung finden.

Percival[1]) beobachtete, dass eine Minze in einem mit Kohlensäure geschwängerten Luftstrome besser wuchs, als ein anderes dem Strome reiner Luft ausgesetztes Exemplar.

Saussure[2]) suchte Percival's Resultate zu bestätigen und ausserdem die Frage zu lösen, welches Verhältniss der der Luft beigemengten Kohlensäure das günstigste für die Pflanze sei. Er liess gekeimte Erbsen gleichzeitig unter 8 mit Wasser gesperrten Recipienten vegetiren. In jedem Apparate wurden 3 Pflänzchen aufgestellt, und zwar so, dass nur die Wurzeln in das Wasser eintauchten. Das Volumen der Atmosphäre unter jedem Recipienten betrug 99 CC., die Zusammensetzung desselben war aber in jedem Apparate eine andere und zwar: einerseits reine Luft, anderseits Luft welche $^1/_{12}$, $^1/_8$, $^1/_4$, $^1/_2$, $^2/_3$, $^3/_4$ Kohlensäure enthielt, und endlich reine Kohlensäure. Die Apparate wurden täglich 5 bis 6 Stunden den directen Sonnenstrahlen ausgesetzt. Gleichzeitig wurden 8 ähnliche Apparate beständig im schwachen diffusen Lichte gehalten. Es erwies sich, dass im

1) Memoires de la Société de Manchester vol. 2. — citirt nach Saussure Rech. chim. s. la veget. 1804. S. 29.

2) Recherches chimiques sur la vegetation. Paris 1804. p. 29—34.

Schatten auch die geringste Beimengung von Kohlensäure (hier 8%) zur atmosphärischen Luft schädlich auf die Vegetation einwirkte, und um so schädlicher, je grösser die beigegebene Menge war. Von den Pflanzen, welche insolirt wurden, gediehen die in einer Atmosphäre von 8% Kohlensäure wachsenden am besten, besser als die in reiner Luft, grössere Kohlensäuregehalte aber haben auch hier schädlich gewirkt. In reiner Kohlensäure, wie auch in der Atmosphäre von 75% und 66% Kohlensäuregehalt starben die Pflänzchen bald ab.

Diese Versuche sind insofern wichtig, als sie zeigen, dass grössere Quantitäten der der Luft beigemengten Kohlensäure schädlich auf die Vegetation einwirken, und was besonders hervorzuheben ist, und worauf wir noch später zurückkommen werden, diese nachtheilige Wirkung stärker im schwachen diffusen als im directen Sonnenlichte ist. Was nun die Beweiskraft für die durch geringere Steigerung des Kohlensäuregehalts der Luft stattfindende Begünstigung der Vegetation anbetrifft, so bleiben diese Versuche hinter dem PERCIVAL'schen zurück. Denn es ist selbstverständlich, dass unter einem geschlossenen Recipienten, wo kein Wiederersatz der verbrauchten Kohlensäure (wenn man von der Diffusion durch das sperrende Wasser absieht) möglich war die Pflanzen aus Mangel an derselben litten, und es kann nicht Wunder nehmen, dass sie sich schwächer entwickelten, als die, welchen auch ein gewisses Quantum der Kohlensäure zur Verfügung stand.

Somit hat SAUSSURE die gestellte Aufgabe nur zum Theil gelöst. Er hat nachgewiesen, dass eine Steigerung des Kohlensäuregehalts der Luft über 8% schädlich auf die Vegetation einwirkt, nicht aber, dass eine Steigerung von $^1/_{20}$% (gewöhnliche Luft) bis 8% das Wachsthum begünstigt. In dieser letzten Hinsicht haben PERCIVAL's Versuche vor dem SAUSSURE'schen den Vorzug, dass die Luft durch den Strom erneuert wurde, und somit der Wiederersatz der zersetzten Kohlensäure möglich war.

SAUSSURE hat die Meinung ausgesprochen, dass die Kohlensäure nur dann für die Vegetation im Lichte nützlich ist, wenn die Atmosphäre gleichzeitig freien Sauerstoff enthält. [1]) Diese Angaben wurden von BOUSSINGAULT geprüft. Er liess [2]) verschiedene Blätter einerseits in reiner Kohlensäure, anderseits in Mischungen derselben mit verschiedenen indifferenten Gasen von der Sonne bescheinen und bestimmte die Menge der zersetzten Kohlensäure. Diese Experimente erwiesen, dass in reiner Kohlensäure unter dem gewöhnlichen Drucke die Sauerstoffausscheidung zwar nicht gänzlich aufgehoben, aber sehr gehemmt wird. Diese Hemmung ist aber keine Folge des Mangels an Sauerstoff, sondern sie rührt von dem zu starken Drucke der

1) Rech. chim. s. la veg. p. 33.

2) Comptes rendus 1865 T. 60 p. 872. Agronomie chimie agriole et physiologie 1868 T. 4 p. 269.

Kohlensäure her. In der That, wenn die Kohlensäure mit irgend einem indifferenten Gase gemengt war, sei es N, oder CO, C_2H_4 oder H, war die zersetzende Thätigkeit der Blätter eben so lebhaft, als wenn die Blätter in einer Mischung atmosphärischer Luft und Kohlensäure fungirten. Aehnlich wie die Vermischung mit einem indifferenten Gase, wirkt die Verminderung des Druckes. Auch reine Kohlensäure wird leicht durch die Blätter unter geringem Drucke zersetzt. Aus diesen Experimenten Boussingault's kann man schon schliessen, dass eine Steigerung der partiären Pressung der Kohlensäure über eine gewisse Grenze schädlich auf die zersetzende Thätigkeit der Blätter einwirkt. Diese Grenze hat, so weit mir wenigstens bekannt, weder Boussingault noch irgend Jemand zu bestimmen gesucht. — Noch weniger hat man sich mit der Frage beschäftigt, ob und in wie weit eine geringere Steigerung des Kohlensäuregehalts der Luft über den gewöhnlichen ($^1/_{20}$ %) von Einfluss auf die zersetzende Thätigkeit der Blätter ist.

Nur Pfeffer[1]) hat sich bei seiner Arbeit: »Ueber die Wirkung farbigen Lichtes auf die Zersetzung der Kohlensäure in Pflanzen« die Frage vorgelegt, »ob gleiche Mengen Kohlensäure zersetzt werden, wenn der Luft etwa 1 oder 12 Procent dieses Gases beigemengt sind«. Er hat zwei Versuche angestellt, bei dem ersten wurden zwei, bei dem zweiten drei Blätter von Prunus laurocerasus insolirt. Die Kohlensäuregehalte waren in erstem $8,_7$ % und $39,_2$ % in zweitem Versuche $10,_2$ %, $18,_7$ % und $38,_8$ %; die zersetzten Kohlensäuremengen im erstem $3,_{16}$ und $3,_{11}$ C. C. im zweitem $3,_{30}$, $3,_{30}$ und $3,_{17}$. Diese Versuche zeigen, dass eine Steigerung des Kohlensäuregehalts der Luft von 8% auf 16% ohne merklichen Einfluss auf die Sauerstoffausscheidung der Blätter von Prunus laurocerasus ist, ausserhalb dieser Grenzen gestatten dieselben jedoch keinen Schluss.

Bei mir handelte es sich um die Feststellung der Frage, ob und wie weit eine Steigerung des Kohlensäuregehaltes der Luft die Sauerstoffausscheidung begünstigt, und um eine annähernde Bestimmung der Grenze, wo sie dieselbe zu hemmen beginnt.

Die Beantwortung dieser Fragen ist auch, abgesehen von dem Interesse, welches sie an und für sich hat, für die Methode weiterer Untersuchungen über die Sauerstoffausscheidung von Wichtigkeit.[2]) Leider erschöpfen meine Versuche, so zahlreich sie auch sind, das Thema nicht.

2. Methode und Fehlerquellen.

Meine Versuche wurden sämmtlich im letzten Sommersemester im botanischen Institut zu Würzburg ausgeführt. Ich arbeitete mit denselben Apparaten, welche Pfeffer bei seinen Untersuchungen vor zwei Jahren be-

1) Arbeiten des botanischen Institutes zu Würzburg Heft I. 1870 p. 33.

2) Pfeffer l. c. p. 35.

nutzt hatte. Die Methode war volkommen dieselbe, welche Pfeffer in seiner oben erwähnten Arbeit ausführlich beschreibt; sämmtliche von ihm angegebenen Vorsichtmassregeln wurden von mir beobachtet. Da Pfeffer die Methode und die Prüfung derselben mit allen Einzelnheiten beschrieben hat, so wäre es zwecklos, diese Beschreibung hier wieder zu geben; dagegen will ich aber auf einige Fehlerquellen hindeuten, welche bei meinen Untersuchungen in Betracht kamen.

1) Damit sich die Apparate möglichst schnell mit Wasserdämpfen sättigten, habe ich dieselben immer vor dem Gebrauche mit Wasser bespült und noch feucht zum Versuche benutzt. Das Gasvolumen wurde aber dadurch um den Raum der an den Wänden haftenden Feuchtigkeit zu hoch abgelesen. Da dieser Fehler, welcher etwa $0,_2$ C. C. betragen konnte, sich bei allen Ablesungen wiederholte, so habe ich ihn ausser Acht gelassen, nur wenn während der Insolation ein Theil dieser Feuchtigkeit sich auf der Quecksilberfläche ansammelte, wurde dieselbe von dem entsprechenden Gasvolumen abgezogen. Um den Fehler möglichst klein und gleichförmig zu machen, wurde für die grösste Reinlichkeit der Apparate gesorgt.

2) Die mögliche Ungleichheit des Einfallswinkels des Lichtes bei der Insolation, besonders bei directen Sonnenstrahlen konnte von einem nicht unbedeutenden Einflusse auf die Resultate sein: Ein senkrecht beleuchtetes Blatt musste mehr Kohlensäure zersetzen als ein etwas schief zur Richtung der Sonnenstrahlen gestelltes. Daher wurde für die gleichmässige Exposition der Blätter Sorge getragen. Die Apparate wurden schief gestellt, damit das Licht beinahe senkrecht auf die Blätterfläche fiel. Trotzdem kam es manchmal vor, dass ein Blatt durch Veränderung der Gewebespannung in Folge der Verdunstung sich während der Insolation krümmte und seine ursprüngliche Stellung gegen das Licht veränderte. Die Fälle wurden notirt und sind bei den entsprechenden Versuchen angegeben.

3) Ein ganz unbedeutender Fehler, der wie man sich leicht durch Rechnung überzeugen kann, nie über $0,_{03}$ C. C. steigen konnte, entstand dadurch, dass sämmtliche Reductionen nach Bunsen's Tafeln, denen der Ausdehnungscoëfficient für Gas $0,_{0036}$ zu Grunde liegt, ausgeführt wurden, ohne zu berücksichtigen, dass der Ausdehnungscoëfficient für Kohlensäure etwas grösser ist und zwar nach Regnault's umfangreichen Versuchen $0,_{00371}$ beträgt.

4) Die grösste und die am meisten störende Fehlerquelle liegt aber in der individuellen Verschiedenheit der Blätter, alle andere oben angegebenen können im Vergleich mit dieser als verschwindend klein angesehen werden. Sie ist die Ursache, dass man sich, um eine Thatsache zu constatiren, nur auf zahlreihe und nie auf ein einziges Experiment stützen darf. Trotz aller Mühe, ist es mir selten gelungen, vier ganz ähnliche und niemals vier ganz gleiche Blätter zu finden. Selbst im Farbentone hat jedes Blatt etwas eigenthümliches, was selbstverständlich auf seine Zer-

setzungskraft von Einfluss sein kann. Bei den Versuchen mit Oleanderblättern musste ich sogar oft darauf verzichten, vier hinreichend ähnliche Blätter zu finden, und habe dann nur die Zersetzungen von je zwei ähnlichen Blätter mit einander verglichen.

5) In der Zusammenstellung der Versuche ist das Durchschnittsprocent der Kohlensäure in der Luft während der Insolation angegeben und dasselbe der Betrachtung des Versuchs zu Grunde gelegt. Schon dass man nur den procentischen Kohlensäuregehalt der Luft berücksichtigt, ist nicht ganz vorwurfsfrei. Es kommt hier nicht sowohl darauf an, wie viel $^0/_0$ Kohlensäure die Luft enthält, als vielmehr, wie man aus BOUSSINGAULT's Versuchen schliessen kann, welchen partiären Druck dieselbe ausübt. Streng genommen sollte man also von der mittleren partiären Pressung der Kohlensäure und nicht von der procentischen Zusammensetzung der Luft reden. Da sich aber der Druck jeden Augenblick mit der Temperatur ändert, so habe ich der Einfachheit wegen den Kohlensäuregehalt in $^0/_0$ angegeben, dafür aber wurde gesorgt, dass die Quecksilbersäule während der Insolation in verschiedenen Röhren möglichst gleiche Höhe hatte. Sie betrug gewöhnlich etwa 3 bis 4 Centimeter, wenn die Temperatur ungefähr 20° C. war.

Ein anderer Fehler liegt in der Art der Berechnung des mittleren Kohlensäuregehaltes der Luft selbst. Als solcher wurde die Mittelzahl zwischen der Kohlensäuremenge am Anfang und Ende des Experiments betrachtet. Enthielt die Luft vor der Insolation $4^0/_0$, nach der Insolation $2^0/_0$, so hat man $\frac{4+2}{2} = 3^0/_0$ als mittleren Kohlensäuregehalt angenommen. Diese Art der Berechnung wäre aber nur dann vollkommen genau, wenn während der ganzen Insolationsdauer die Kohlensäurezersetzung mit gleicher Schnelligkeit vor sich ginge. Bei grösseren Kohlensäuregehalten ist das wenigstens wahrscheinlich, bei kleineren aber entschieden unmöglich. Denn in kohlensäurereicherer Luft geht die Sauerstoffausscheidung schneller vor sich als in kohlensäureärmerer, (wenn nur der Kohlensäuregehalt in beiden Fällen nicht zu gross ist); daher muss auch der Zersetzungsprocess in einer nicht zu viel Kohlensäure enthaltenden Luft anfangs lebhafter sein, um sich dann mit sinkendem Kohlensäuregehalte immer mehr zu verlangsamen. Somit sinkt auch der Kohlensäuregehalt nicht gleichmässig, sondern immer langsamer, und aus diesem Grunde ist die Mittelzahl zwischen dem anfänglichen und endlichen Kohlensäuregehalt etwas höher als die Zahl, welche den wirklichen mittleren Kohlensäuregehalt während der ganzen Insolationsdauer ausdrückt.

Dieser Fehler ist um so grösser, je kleiner der Kohlensäuregehalt überhaupt und je länger die Insolationsdauer war. Um ihn möglichst klein zu machen, habe ich (besonders in der zweiten Versuchsreihe) die Expositionszeit so weit als möglich beschränkt. Im directen Sonnenlichte

dauerte die Insolation meist nur $^1/_2$ Stunde. Eine weitere Beschränkung dieser Zeit konnte ohne Einfluss auf die Genauigkeit der Resultate nicht stattfinden.

Meine Versuche wurden hauptsächlich nur mit Blättern von drei Pflanzenarten ausgeführt. Diese sind: Glyceria spectabilis, Typha latifolia und Nerium Oleander. Es ist selbstverständlich, dass ein ganzes Blatt von Glyceria oder Typha, nicht verwendet werden konnte. Versuch II zeigt die Vertheilung der Zersetzungskraft in den verschiedenen Blatttheilen, und zwar, dass dieselbe in der Mitte am stärksten ist, und nach der Spitze einerseits und nach der Basis anderseits abnimmt. Deswegen wurde die Spitze des Blattes von etwa 70 C. Länge weggeschnitten und von dem daran stossenden Theile Stücke von etwa 100 C. Länge zum Experimente verwendet.

Die Thatsache, dass eine mässige Steigerung des Kohlensäuregehaltes der Luft auch eine lebhaftere Thätigkeit der Blätter bewirkt, habe ich zuerst an Glyceria spectabilis gefunden. Um dieselbe mit aller Sicherheit zu constatiren, habe ich bei einigen Experimenten den möglichen Einfluss der individuellen Blätterverschiedenheiten folgender Weise zu eliminiren gesucht. Der Versuch III zeigt, dass selbst bei unähnlichen Blättern, denen verschiedene Zersetzungskräfte zukommen, die Vertheilung derselben auf der Blattfläche eine ähnliche ist, und zwar nimmt dieselbe immer von der Spitze gegen die Mitte des Blattes hin zu. In diesem Experimente ist die Mittelzahl zwischen der Menge der zersetzten Kohlensäure von dem oberen Theile des ersten und unteren des zweiten Blattes nahezu gleich der mittleren Zersetzung von dem oberen Theile des zweiten und dem unteren des ersten Blattes.

Nun habe ich bei meinen Versuchen mit Glyceria zwei möglichst ähnliche Blätter ausgesucht, die Spitze derselben weggeschnitten und aus dem daran stossenden Theile zwei Stücke aus jedem Blatte zum Experimente gebraucht. Der obere Theil des einen und der untere des zweiten Blattes waren in einer kohlensäurereicheren, der obere des zweiten und der untere des ersten Blattes in einer kohlensäureärmeren Atmosphäre insolirt, und wurden dann Mittelzahlen zwischen den, von den beiden ersten und den beiden letzten Blattstücken zersetzten Kohlensäuremengen mit einander verglichen. Durch dieses Verfahren wurde der störende Einfluss der Blattverschiedenheiten wenigstens zum Theil eliminirt, und die Unterschiede konnten fast ausschliesslich nur von einen gleichen Kohlensäuregehalte der Luft herrühren.

3. Zusammenstellung und Betrachtung der Versuche.

Jeder Versuch ist in einer besonderen kleinen Tabelle dargestellt. Es sind hier angegeben: das Volumen und die Fläche jedes Blattes, das absolute Gasvolumen und die Zusammensetzung desselben vor und nach der

Exposition, die mittlere Kohlensäuremenge der Luft in %, die absolute Menge, welche nach der Berechnung von 1 Quadrat-Decimeter in 1 Stunde zersetzt wurde, und endlich die Differenzen der Volumina vor und nach der Exposition.

Erste Versuchsreihe:

Mit *Glyceria spectabilis.*

Versuch I. 28. Mai.

Spitzen von 4 ähnlichen Blättern. Exposition von 9 bis 12 Uhr. Der Himmel mit weissen Wolken bedeckt, durch welche die Sonne nur dann und wann brach. Temp. 19—23° C.

Nr.	Blattvolumen.	Blatt-fläche.	Vor Exposition.	Nach Exposition.	Mittlerer Kohlensäuregehalt in %	Zersetzte CO_2 C. C.	Zersetzte CO_2 pr. 1 D.Q. u. 1 Std. berechnet C. C.	Differenzen der Volumina.
			Gas-Vol. = CO_2 + Luft.	Gas-Vol. = CO_2 + Luft.				
1.		31,97	74,75 = 7,1 + 67,65	75,32 = 1,41 + 73,91	5,7	5,09	5,83	0,54
2.		29,26	76,68 = 11,31 + 65,37	77,09 = 3,42 + 73,67	9,5	7,89	8,98	0,41
3.		29,88	76,18 = 5,92 + 70,26	76,91 = 1,3 + 75,61	4,7	4,62	5,16	0,73
4.		30,06	74,83 = 12,39 + 62,44	75,19 = 5,02 + 70,17	11,5	7,37	8,17	0,36

Versuch II. 29. Mai.

Ein Blatt in vier Theile zerlegt: Nr. 1 die Spitze, Nr. 4 die Basis, Nr. 2 und 3 Mittelstücke. Exposition von 9 bis 12 Uhr. Der Himmel wie im vorigem Versuche. Temp. 21—24° C.

Nr.	Blattvolumen	Blatt-fläche.	Vor Exposition.	Nach Exposition.	Mittlerer Kohlensäuregehalt der Luft in %	Zersetzte CO_2 C. C.	Zersetzte CO_2 pr. 1 D.Q. u. 1 Std. berechnet C. C.	Differenzen der Volumina.
			Gas-Vol. = CO_2 + Luft.	Gas-Vol. — CO_2 + Luft.				
1.	0,4	14,77	69,36 = 8,32 + 61,04	69,65 = 3,74 + 65,86	9,4	4,53	10,22	+0,29
2.	0,8	17,7	70,17 = 8,62 + 61,55	70,55 = 1,84 + 68,71	7,5	6,78	12,71	+0,38
3.	1,0	18,77	70,77 = 8,96 + 61,81	71,13 = 2,13 + 69,00	7,8	6,83	12,13	+0,36
4.	1,3	20,57	66,94 = 7,52 + 59,42	67,51 = 2,92 + 64,59	7,9	4,6	7,45	+0,57

Versuch III. 30. Mai.

Von zwei ähnlichen Blättern wurden die äussersten Spitzen weggeschnitten, und dann zwei daran stossende Theile jedes Blattes zum Versuche genommen. Nr. 1 das obere, Nr. 2 das untere Stück des ersten, Nr. 3 das obere, Nr. 4 das untere Stück des zweiten Blattes. Exposition

von 10 Uhr 45 Min. bis 1 Uhr 45 Min. Der Himmel war mit weissen Wolken bedeckt, durch welche die Sonne oft brach. Temp. 22—28° C.

Nr.	Blattvolumen.	Blatt-fläche.	Vor Exposition. Gas-Vol. = CO_2 + Luft.	Nach Exposition. Gas-Vol. = CO_2 + Luft.	Mittlerer Kohlensäuregehalt der Luft in %	Zersetzte CO_2 C. C.	Zersetzte CO_2 pr. 1 D. Q. u. 1 Std. berechnet C. C.	Differenz der Volumina.
1.	0,4	18,41	72,53 = 10,35 + 62,18	72,91 = 6,18 + 66,73	11,5	4,17	7,54	+0,38
2.	0,55	18,50	70,72 = 10,38 + 60,34	71,25 = 4,86 + 66,39	10,7	5,52	9,84	+0,53
3.	0,45	18,89	73,97 = 10,62 + 63,35	74,27 = 5,05 + 69,22	9,7	5,57	9,82	+0,3
4.	0,7	19,25	72,52 = 11,3 + 61,22	73,11 = 4,40 + 68,71	10,7	6,9	11,89	+0,59

Mittelzahl der Kohlensäurezersetzung von Nr. 1 und 4—9,43 C. C. der von Nr. 2 und 3—9,83 C. C. pro 1 Dm. Q. und in 1 Stunde.

Versuch IV. 31. Mai.

Stücke von zwei ähnlichen Blättern. Nr. 1 das obere, Nr. 2 das untere Stück des ersten, Nr. 3 das obere, Nr. 4 das untere Stück des zweiten Blattes. Exposition von 9 bis 12 Uhr. Während der ersten Stunde bewölkter Himmel, später fast ununterbrochener Sonnenschein. Temp. 22—29° C. Nr. 1 und Nr. 2 haben sich während der Experimente ein Bischen vom Lichte abgedreht.

Nr.	Blattvolumen.	Blatt-fläche.	Vor Exposition. Gas-Vol. = CO_2 + Luft.	Nach Exposition. Gas-Vol. = CO_2 + Luft.	Mittlerer Kohlensäuregehalt der Luft in %.	Zersetzte CO_2 in C. C.	Zersetzte CO_2 pr. 1 D. Q. u. 1 Std. berechnet C. C.	Differenzen der Gasvolumina.
1.	0,4	16,30	69,90 = 13,14 + 56,76	70,13 = 8,06 + 62,07	15,6	5,08	10,30	+0,23
2.	0,6	16,99	66,83 = 5,84 + 60,99	67,00 = 0,63 + 66,37	4,8	5,21	10,22	+0,17
3	0,4	16,09	69,50 = 6,57 + 62,93	69,61 = 2,06 + 67,55	6,1	4,51	9,42	+0,11
4.	0,6	17,25	69,12 = 12,30 + 56,82	69,45 = 5,88 + 63,57	13,2	6,42	12,41	+0,33

Mittelzahl: Kohlensäuregehalt 14,1% — Zersetzung 11,4 C. C.
» 5,4% » 9,82 C. C.
pro 1 Q. D. in 1 Stunde.

Versuch V. 1. Juni.

Blattstücke wie im vorigen Versuche. Exposition von 11 bis 2 Uhr. Während der ersten Hälfte dieser Zeit schien die Sonne fast ununterbrochen. Temp. 25° C. später hat sich der Himmel mit grauen Wolken bedeckt. Temp. 21° C.

Nr.	Blattvolumen.	Blattfläche.	Vor Exposition.	Nach Exposition.	Mittlerer Kohlensäuregehalt der Luft C. C.	Zersetzte CO_2 C. C.	Zersetzte CO_2 pr. 1 D. Q. u. 1 Std. berechnet C. C.	Differenzen der Gasvolumina.
			Gas-Vol. = CO_2 + Luft.	Gas-Vol. = CO_2 + Luft.				
1.	0,35	14,65	68,10 = 11,62 + 56,48	68,36 = 8,18 + 60,18	14,5	3,44	7,82	+0,26
2.	0,6	15,20	68,36 = 6,7 + 61,66	68,63 = 2,81 + 65,82	6,9	3,89	8,54	+0,27
3.	0,3	13,20	68,22 = 6,22 + 62,00	68,27 = 3,13 + 65,14	6,8	3,09	7,80	+0,05
4.	0,55	14,24	68,18 = 14,73 + 53,45	68,37 = 10,02 + 58,35	18,1	4,71	11,02	+0,19

Mittelzahl: Kohlensäuregehalt 16,3% — Zersetzung 9,42 C. C.
» 6,8% » 8,17 C. C.
pro 1 D. Q. in 1 Stunde.

Versuch VI. 2. Juni.

Blätter wie im vorigem Versuche. Exposition von 11 Uhr 20 Min. bis 2 Uhr 20 Min. Der Himmel war die ganze Zeit hindurch mit grauen Wolken vollständig bedeckt. Temp. 20,3—21° C.

Nr.	Blattvolumen.	Blattfläche.	Vor Exposition.	Nach Exposition.	Mittlerer Kohlensäuregehalt der Luft in %	Zersetzte CO_2 C. C.	Zersetzte CO_2 pr. 1 D. Q. u. 1 Std. berechnet C. C.	Differenz der Volumina.
			Gas-Vol. = CO_2 + Luft.	Gas-Vol. = CO_2 + Luft.				
1.	0,3	15,01	69,79 = 5,77 + 64,02	69,89 = 3,74 + 66,15	6,8	2,03	4,50	+0,1
2.	0,5	15,68	69,66 = 11,84 + 57,82	69,91 = 9,34 + 69,91	15,2	2,50	5,31	+0,25
3.	0,3	16,62	70,48 = 11,66 + 58,39	70,59 = 9,48 + 70,59	15,0	2,18	4,37	+0,11
4.	0,6	17,04	65,71 = 6,11 + 59,60	65,99 = 3,32 + 65,99	7,0	2,79	5,45	+0,28

Mittelzahl: Kohlensäuregehalt 15,1% — Zersetzung 4,89 C. C.
» 6,9% » 4,97 C. C.
pro 1 D. Q. in 1 Stunde.

Versuch VII. 3. Juni.

Blattstücke wie oben. Exposition von 12 Uhr 10 Min. bis 3 Uhr 10 Min. Der Himmel mit weissen und grauen Wolken bedeckt. Temp. 22 bis 23° C.

Nr.	Blattvolumen.	Blattfläche.	Vor Exposition.	Nach Exposition.	Mittlerer Kohlensäuregehalt der Luft in %	Zersetzte CO_2 C. C.	Zersetzte CO_2 pr. 1 D. Q. u. 1 Std. berechnet C. C.	Differenz der Volumina.
			Gas-Vol. = CO_2 + Luft.	Gas-Vol. = CO_2 + Luft.				
1.	0,4	21,12	70,92 = 5,23 + 65,79	71,02 = 1,84 + 69,18	4,9	3,39	5,35	+0,10
2.	0,4	20,75	70,20 = 10,7 + 60,50	70,31 = 5,01 + 65,30	12,7	5,69	9,14	+0,11
3.	0,7	20,96	69,46 = 8,90 + 60,47	69,68 = 3,47 + 65,21	8,9	5,82	6,78	+0,22
4.	0,7	20,82	67,37 = 4,55 + 62,77	67,60 = 0,76 + 66,24	3,9	3,79	8,07	+0,28

Mittelzahl: Kohlensäuregehalt 10,3 % — Zersetzung 8,96 C. C.
» 4,4 % » 5,71 C. C.
pro 1 D. Q. in 1 Stunde.

Versuch VIII. 5. Juni.

Blattstücke wie oben. Exposition von 4 bis 5 Uhr. Trübes Wetter. Es regnete fast fortwährend. Temp. 18,5—19,8° C.

Nr.	Blattvolumen.	Blattfläche.	Vor Exposition.	Nach Exposition.	Mittlerer Kohlensäuregehalt der Luft in %	Zersetzte CO_2 C. C.	Zersetzte CO_2 pr. 1 D. Q. u. 1 Std. berechnet C. C.	Differenz der Volumina.
			Gas-Vol. = CO_2 + Luft.	Gas-Vol. = CO_2 + Luft.				
1.	0,5	22,6	68,72 = 4,71 + 64,01	68,72 = 2,62 + 66,10	5,3	2,09	2,31	0,00
2.	0,5	23,7	69,51 = 9,96 + 59,55	69,62 = 8,19 + 61,43	12,9	1,77	1,71	+0,11
3.	0,8	21,23	71,71 = 11,02 + 69,69	71,08 = 9,12 + 62, 9	14	1,90	2,23	+0,03
4.	0,8	22,01	66,69 = 4,58 + 62,11	66,80 = 2,7 + 64,10	5,4	1,88	2,13	+0,11

Mittelzahl: Kohlensäuregehalt 5,4 % — Zersetzung 2,22 C. C.
» 13,5 % » 1,97 C. C.
pro 1 D. Q. in 1 Stunde.

Versuch IX. 8. Juni.

Mittlere Stücke von vier ähnlichen Blättern. Exposition von 12 bis 3 Uhr 30 Min. Der Himmel mit weissen und grauen Wolken bedeckt, durch welche die Sonne nur selten brach. Temp. 22—24° C.

Nr.	Blattvolumen.	Blattfläche.	Vor Exposition.	Nach Exposition.	Mittlerer Kohlensäuregehalt dor Luft in %	Zersetzte CO_2 C. C.	Zersetzte CO_2 pr. 1 D. Q. u. 1 Std. berechnet C. C.	Differenz der Volumina.
			Gas-Vol. = CO_2 + Luft.	Gas-Vol. = CO_2 + Luft.				
1.	0,4	18,7	68,42 = 12,66 + 55,76	68,54 = 8,40 + 60,14	12,2	4,26	0,51	+0,12
2.	0,45	18,84	69,22 = 5,05 + 64,17	69,30 = 1,33 + 68,06	1,9	3,72	5,69	+0,17
3.	0,4	19,34	69,95 = 5,31 + 64,64	70,15 = 1,85 + 68,30	2,6	3,46	5,11	+0,20
4.	0,3	17,27	67,49 = 12,10 + 55,39	67,69 = 8,16 + 59,53	12	3,94	6,52	+0,20

Versuch X. 9. Juni.

Mittlere Stücke von vier ähnlichen Blättern. Exposition von 9 Uhr 15 Min. bis 12 Uhr 15 Min. Directe Sonnenstrahlen und bewölkter Himmel oft wechselnd. Temp. 22—25° C.

Nr.	Blattvolumen.	Blatt-fläche.	Vor Exposition.	Nach Exposition.	Mittlerer Kohlensäuregehalt der Luft in %	Zersetzte CO_2 C. C.	Zersetzte CO_2 pr. 1 D.Q. u. 1 Std. berechnet C. C.	Differenz der Volumina.
			Gas-Vol. = CO_2 + Luft.	Gas-Vol. = CO_2 + Luft.				
1.	0,55	21,07	72,75 = 8,49 + 65,34	73,10 = 2,35 + 70,75	8,1	5,06	8,00	+0,35
2.	0,5	21,82	71,20 = 12,05 + 59,15	71,51 = 6,62 + 64,89	13,1	5,43	8,29	+0,31
3.	0,5	22,23	70,92 = 11,08 + 59,94	71,09 = 5,51 + 65,48	11,6	5,57	8,36	+0,17
4.	0,55	20,9	66,95 = 7,03 + 59,92	67,38 = 7,89 + 64,49	7,4	4,14	6,12	+0,43

Versuch XI. 10. Juni.

Vier ähnliche Blattstücke. Exposition beginnt um 11 Uhr 45 Min. und dauert $1^1/_2$ Stunde für die Blattstücke Nr. 1 und 2, und 3 Stunden für Nr. 3 und 4. Bis 1 Uhr 30 Min. fast ununterbrochener Sonnenschein. Temp. 25—31° C.; später hat sich der Himmel mit Wolken bedeckt und die Temp. sank bis auf 22° C.

Nr.	Blattvolumen.	Blatt-fläche.	Vor Exposition.	Nach Exposition.	Mittlerer Kohlensäuregehalt der Luft in %	Zersetzte CO_2 C. C.	Zersetzte CO_2 pr. 1 D.Q. u. 1 Std. berechnet C. C.	Differenz der Volumina.
			Gas-Vol. = CO_2 + Luft.	Gas-Vol. = CO_2 + Luft.				
1.	0,5	23,15	72,37 = 11,84 + 60,53	72,64 = 8,84 + 63,80	14,4	3,00	8,64	+0,27
2.	0,5	22,89	65,95 = 3,41 + 62,54	66,17 = 1,28 + 64,89	3,5	2,13	6,21	+0,22
3.	0,4	21,12	69,40 = 5,63 + 63,77	69,52 = 2,43 + 67,09	5,8	3,2	5,05	+0,12
4.	0,5	20,38	70,10 = 11,29 + 58,87	70,07 = 7,24 + 62,83	13,8	4,05	6,62	+0,03

Versuch XII. 12. Juni.

Stücke von vier ähnlichen Blättern. Exposition von 12 Uhr 10 Min. bis 1 Uhr 40 M. Fast ununterbrochener Sonnenschein. Temp. 26—29,5° C.

Nr.	Blattvolumen.	Blatt-fläche.	Vor Exposition.	Nach Exposition.	Mittlerer Kohlensäuregehalt der Luft in %	Zersetzte CO_2 C. C.	Zersetzte CO_2 pr. 1 D.Q. u. 1 Std. berechnet C. C.	Differenz der Volumina.
			Gas-Vol. = CO_2 + Luft.	Gas-Vol. = CO_2 + Luft.				
1.	0,3	14,72	70,02 = 19,69 + 50,33	70,35 = 17,05 + 53,30	26	2,64	11,95	+0,33
2.	0,25	14,11	69,93 = 10,16 + 59,77	69,93 = 7,29 + 62,64	12,6	2,87	13,56	—0,11
3.	0,3	15,62	67,56 = 3,64 + 63,92	67,63 = 1,68 + 65,95	3,9	1,96	8,31	+0,07
4.	0,3	14,97	67,16 = 12,68 + 54,48	67,40 = 10,07 + 57,43	17	2,61	11,62	+0,24

Versuch XIII. 15. Juni.

Stücke von vier ähnlichen Blättern. Exposition von 1 Uhr 30 Min. bis 2 Uhr. Fast ununterbrochener Sonnenschein. Die Apparate wurden mit Papierschirmen beschattet. Temp. 25—29° C.

Nr.	Blattvolumen.	Blattfläche.	Vor Exposition. Gas-Vol. = CO_2 + Luft.	Nach Exposition. Gas-Vol. = CO_2 + Luft.	Mittlerer Kohlensäuregehalt der Luft in %	Zersetzte CO_2. C. C.	Zersetzte CO_2 pr. 1 D.Q. u. 1 Std. berechnet C. C.	Differenz der Volumina.
1.	0,4	18,65	68,80 = 12,31 + 56,49	69,09 = 9,32 + 59,77	15,8	2,99	6,41	
2.	0,3	16,90	68,14 = 4,80 + 63,34	68,27 = 3,33 + 64,94	5,9	1,47	3,46	
3.	0,4	18,63	68,78 = 11,67 + 57,11	69,06 = 8,46 + 60,60	14,6	3,21	6,89	
4.	0,38	18,74	64,29 = 4,12 + 60,17	64,42 = 2,72 + 61,70	5,3	1,40	3,00	

Versuch XIV. 16. Juni.

Stücke von vier ähnlichen Blättern. Exposition von 11 Uhr 15 Min. bis 12 Uhr 15 M. Fast ununterbrochener Sonnenschein. Temp. 29—33° C.

Nr.	Blattvolumen.	Blattfläche.	Vor Exposition. Gas-Vol. = CO_2 + Luft.	Nach Exposition. Gas-Vol. = CO_2 + Luft.	Mittlerer Kohlensäuregehalt der Luft in %	Zersetzte CO_2 C. C.	Zersetzte CO_2 pr. 1 D.Q. u. 1 Std. berechnet C. C.	Differenz der Volumina.
1.	0,6	23,81	70,61 = 18,53 + 52,08	70,60 = 16,17 + 54,43	24,5	2,36	9,91	+0,44
2.	0,6	20	69,33 = 10,16 + 59,17	69,78 = 7,08 + 62,70	12,6	3,08	15,4	+0,45
3.[1]	0,5	21,9	70,49 = 5,32 + 65,17	70,63 = 4,33 + 66,29	7	0,99	(4,5)	+0,13
4.	0,55	22,16	68,10 = 3,13 + 64,97	68,33 = 1,81 + 66,52	3,6	1,32	5,96	+0,23

Versuch XV. 1. Juli.

Vier ähnliche Blattstücke. Exposition von 12 Uhr 30 Min. bis 1 Uhr. Ununterbrochener Sonnenschein. Temp. 28—31° C.

Nr.	Blattvolumen.	Blattfläche.	Vor Exposition. Gas-Vol. = CO_2 + Luft.	Nach Exposition. Gas-Vol. = CO_2 + Luft.	Mittlerer Kohlensäuregehalt der Luft in %	Zersetzte CO_2 C. C.	Zersetzte CO_2 pr. 1 D.Q. u. 1 Std. berechnet C. C.	Differenz der Volumina.
1.	0,38	18,75	68,16 = 9,68 + 58,48	68,33 = 9,28 + 59,05	13,9	0,40	4,27	+0,17
2.	0,38	18,30	68,23 = 7,26 + 60,97	68,40 = 6,72 + 61,68	10,4	0,54	5,85	+0,17
3.	0,44	19,44	68,57 = 5,07 + 63,50	68,64 = 4,61 + 64,03	7	0,46	4,73	+0,07
4.	0,4	18,07	68,17 = 2,28 + 65,89	68,25 = 2,09 + 66,16	3,1	0,19	2,10	+0,08

Schon der erste Versuch dieser Reihe zeigt eine ganz ausgesprochene Abhängigkeit des Sauerstoffausscheidungsprocesses von dem Kohlensäuregehalte der Luft. Er zeigt, dass noch mit 5% Kohlensäuregehalts das

1) Dieses Blatt hatte sich während der Insolation längs der Mittelrippe vollständig zusammengelegt, was der Grund seiner geringen Leistung war.

Optimum nicht erreicht war. Da eine solche Abhängigkeit in dieser Form neulichst von Pfeffer verneint wurde, so habe ich mir alle Mühe gegeben, um dieselbe zunächst ganz unzweifelhaft festzustellen. Alle Versuche dieser Reihe, welche zu diesem Zwecke angestellt waren, zeigen übereinstimmend, dass die Zunahme an Kohlensäuregehalt der Luft bis zu einer gewissen Grenze auch eine lebhaftere Kohlensäurezersetzung bewirkt. Eine Ausnahme bilden hier nur die Experimente IV und VIII. In beiden waren die Zersetzungen in kohlensäurereicherer und ärmerer Luft nahezu einander gleich, ja in dem VIII. Versuche hat Blattstück Nr. 1 in einer 5% Kohlensäure enthaltenden Luft verhältnissmässig bedeutend mehr geleistet, als Nr. 2 in der Atmosphäre, welche 12% Kohlensäure enthielt. Beide Versuche und zwar ganz besonders der Versuch VIII waren an trüben Tagen angestellt, wo die Apparate keine directen Sonnenstrahlen, sondern nur diffuses Licht erhielten. Das zeigt, dass die stärkere Zunahme an Kohlensäuregehalt der Luft nur insofern die zersetzende Thätigkeit der Blätter begünstigt, als das Licht von genügender Intensität ist. Bei directem Sonnenlichte scheint das Optimum des Kohlensäuregehaltes der Luft etwa zwischen 8% und 10% zu liegen, wenigstens eine Steigerung des Kohlensäuregehaltes über 7% hat noch günstig gewirkt (Versuch V und XV). Die Wirkung noch kohlensäurereicherer Luft war in dieser Versuchsreihe wenig untersucht, doch zeigt der Versuch XII schon bei 17% und noch mehr der Versuch XIV bei 24% eine Verminderung der zersetzenden Thätigkeit der Blätter.

Zweite Versuchsreihe:

mit *Typha latifolia.*

Versuch XVI. 14. Juni.

Stücke von drei ähnlichen Blättern. Exposition von 11 Uhr 15 Min. bis 2 Uhr. Die Sonne bricht oft durch weisse Wolken, welche den Himmel bedecken. Temp. 24—26° C.

Nr.	Blattvolumen.	Blattfläche.	Vor Exposition. Gas-Vol. = CO_2 + Luft.	Nach Exposition. Gas-Vol. = CO_2 + Luft.	Mittlerer Kohlensäuregehalt der Luft in %	Zersetzte CO_2 C. C.	Zersetzte CO_2 pr. 1 D.Q. u. 1 Std. berechnet C. C.	Differenz der Volumina.
1.	0,6	13,14	68,70 = 11,99 + 56,71	68,88 = 7,41 + 61,47	13,3	4,58	15,12	+0,18
2.	0,6	15,55	68,44 = 10,81 + 57,63	68,76 = 5,38 + 63,38	11,5	5,43	17,5	+0,32
3.	0,6	13,68	66,69 = 6,11 + 60,58	66,87 = 0,48 + 66,39	4,9	5,63	18,02	+0,18

Versuch XVII. 17. Juni.

Stücke von vier ähnlichen Blättern Exposition von 12 Uhr bis 1 Uhr 30 Min. Sonnenschein und bewölkter Himmel oft wechselnd. Temperatur 25—29° C.

Nr.	Blattvolumen.	Blatt-fläche.	Vor Exposition. Gas-Vol. = CO_2 + Luft.	Nach Exposition. Gas-Vol. = CO_2 + Luft.	Mittlerer Kohlensäuregehalt der Luft in %	Zersetzte CO_2 C. C.	Zersetzte CO_2 pr. 1 D.Q. u. 1 Std. berechnet C. C.	Differenz der Volumina.
1.	0,6	15,14	69,45 = 12,16 + 57,29	69,67 = 9,43 + 60,24	15,5	2,73	12,02	+0,22
2.	0,65	16,27	69,57 = 12,59 + 56,98	69,86 = 9,15 + 60,71	15,5	3,44	14,09	+0,29
3.	0,7	14,55	70,67 = 6,33 + 64,34	70,80 = 3,10 + 67,70	6,7	3,23	14,86	+0,13
4.	0,65	14,45	68,60 = 6,83 + 61,77	68,73 = 3,62 + 65,11	7,7	3,01	14,29	+0,13

Versuch XVIII. 18. Juni.

Vier Blattstücke wie oben. Exposition von 12 Uhr bis 1 Uhr 15 M. Dauernder Sonnenschein etwas durch weisse durchsichtige Wolken gedämpft. Temp. 25—28° C.

Nr.	Blattvolumen.	Blatt-fläche.	Vor Exposition. Gas-Vol. = CO_2 + Luft.	Nach Exposition. Gas-Vol. = CO_2 + Luft.	Mittlerer Kohlensäuregehalt der Luft in %	Zersetzte CO_2 C. C.	Zersetzte CO_2 pr. 1 D.Q. u. 1 Std. berechnet C. C.	Differenz der Volumina.
1.	0,7	17,0	70,79 = 9,40 + 61,39	70,84 = 4,84 + 66,00	10	4,56	21,48	+0,05
2.[1]	0,8	16,3	69,18 = 7,44 + 61,74	69,24 = 2,63 + 66,61	7,3	4,81	23,55	+0,06
3.	0,7	17,05	71,03 = 3,67 + 67,36	71,12 = 0,37 + 70,75	2,9	3,30	15,48	+0,09
4.	0,8	16,11	67,71 = 2,13 + 65,58	67,78 = 0,16 + 67,62	1,7	1,97	9,21	+0,07

Versuch XIX. 19. Juni.

Vier Blattstücke wie oben. Exposition von 12 Uhr 10 M. bis 1 Uhr 25 Min. Der Himmel mit weissen Wolken bedeckt, nur dann und wann directer Sonnenschein. Temp. 23—26° C.

Nr.	Blattvolumen.	Blatt-fläche.	Vor Exposition. Gas-Vol. = CO_2 + Luft.	Nach Exposition. Gas-Vol. = CO_2 + Luft.	Mittlerer Kohlensäuregehalt der Luft in %	Zersetzte CO_2 C. C.	Zersetzte CO_2 pr. 1 D.Q. u. 1 Std. perechnet C. C.	Differenz der Volumina.
1.	0,95	18,22	70,27 = 20,72 + 49,55	70,32 = 18,65 + 51,67	28	2,07	9,09	+0,05
2.	0,95	18,29	69,79 = 10,68 + 59,11	70,02 = 8,01 + 62,01	13,3	2,57	11,24	+0,23
3.	1,10	20,41	69,61 = 6,17 + 63,44	69,84 = 2,82 + 66,98	7,8	3,35	13,13	+0,23
4.	0,95	18,07	66,51 = 2,54 + 63,97	66,63 = 0,29 + 66,34	2,1	2,25	9,40	+0,12

1) Dieses Blatt hat sich gegen das Ende des Experiments etwas gebogen.

Versuch XX. 20. Juni.

Vier Blätterstücke wie oben. Exposition von 12 Uhr 40 Min. bis 1 Uhr 10 Min. Die Sonne theilweise durch weisse Wolken verschleiert. Temp. 2[illegible]—30° C.

Nr.	Blattvolumen.	Blattfläche.	Vor Exposition.	Nach Exposition.	Mittlerer Kohlensäuregehalt der Luft in %	Zersetzte CO_2 C. C.	Zersetzte CO_2 pr. 1 D.Q. u. 1 Std. berechnet C. C.	Differenz der Volumina.
			Gas-Vol. = CO_2 + Luft.	Gas-Vol. = CO_2 + Luft.				
1.	0,8	15,45	68,36 = 7,23 + 61,13	68,02 = 5,87 + 62,85	9,6	1,36	17,61	+0,26
2.	0,75	15,5	67,45 = 5,00 + 62,45	67,64 = 3,46 + 64,18	6,3	1,57	20,26	+0,19
3.	0,7	15,68	67,83 = 3,20 + 64,63	67,89 = 1,53 + 66,36	3,6	1,67	21,30	+0,06
4.	0,75	15,32	67,98 = 2,33 + 65,65	68,15 = 1,28 + 66,87	2,6	1,05	13,71	+0,17

Versuch XXI. 21. Juni.

Vier Blattstücke wie oben. Exposition von 12 Uhr bis 12 Uhr 45 M. Der Himmel mit grauen Wolken bedeckt. Temp. 24° C.

Nr.	Blattvolumen.	Blattfläche.	Vor Exposition.	Nach Exposition.	Mittlerer Kohlensäuregehalt der Luft in %	Zersetzte CO_2 C. C.	Zersetzte CO_2 pr. 1 D.Q. u. 1 Std. berechnet C. C.	Differenz der Volumina.
			Gas-Vol. = CO_2 + Luft.	Gas-Vol. = CO_2 + Luft.				
1.	0,65	16,70	69,57 = 7,03 + 62,54	69,59 = 6,44 + 63,15	9,6	0,59	4,69	+0,02
2.	0,65	16,92	69,18 = 3,74 + 65,44	69,22 = 3,18 + 66,04	4,1	0,56	4,31	+0,04
3.	0,7	16,08	69,87 = 2,52 + 67,35	69,94 = 2,03 + 67,91	2,4	0,49	4,31	+0,07
4.	0,8	17,26	66,12 = 1,28 + 64,84	66,22 = 0,69 + 65,53	1,5	0,59	4,5	+0,10

Versuch XXII. 22. Juni.

Vier Blattstücke wie oben. Exposition von 11 Uhr 40 Min. bis 2 Uhr 40 Min. Der Himmel mit grauen Wolken bedeckt, trübes Wetter. Temp. 22° C.

Nr.	Blattvolumen.	Blattfläche.	Vor Exposition.	Nach Exposition.	Mittlerer Kohlensäuregehalt der Luft in %	Zersetzte CO_2 C. C.	Zersetzte CO_2 pr. 1 D.Q. u. 1 Std. berechnet C. C.	Differenz der Volumina.
			Gas-Vol. = CO_2 + Luft.	Gas-Vol. = CO_2 + Luft.				
1.	0,7	14,93	72,73 = 27,35 + 45,38	72,80 = 26,36 + 46,44	36,7	0,99	2,39	+0,07
2.	0,65	14,93	69,50 = 15,50 + 54,00	69,59 = 14,48 + 52,11	21,2	1,11	2,99	0,00
3.	0,65	15,34	69,10 = 10,43 + 58,67	69,20 = 9,14 + 60,06	14,2	1,29	3,33	0,10
4.	0,6	14,6	66,15 = 7,11 + 59,04	66,10 = 5,80 + 60,31	10	1,22	3,35	0,07

Versuch XXIII. 23. Juni.

Vier Blattstücke wie oben. Exposition von 11 Uhr 20 Min. bis 12 Uhr 5 Min. Dauernder Sonnenschein. Temp. 28—30° C.

Nr.	Blattvolumen.	Blattfläche.	Vor Exposition. Gas-Vol. = CO_2 + Luft.	Nach Exposition. Gas-Vol. = CO_2 + Luft.	Mittlerer Kohlensäuregehalt der Luft in %	Zersetzte CO_2 C. C.	Zersetzte CO_2 pr. 1 D.Q. u. 1 Std. berechnet C. C.	Differenz der Volumina.
1.	0,45	12,93	74,24 = 29,21 + 44,53	74,23 = 28,16 + 46,17	39,1	1,55	15,95	—0,01
2.	0,45	14,12	74,07 = 19,38 + 54,69	71,17 = 17,3 + 53,87	25,8	2,00	18,88	+0,10
3.	0,53	13,05	69,87 = 12,93 + 56,94	69,99 = 11,34 + 58,65	17,3	1,39	16,18	+0,12
4.	0,5	14,04	66,35 = 5,55 + 60,80	66,45 = 3,28 + 63,17	6,7	2,27	21,56	+0,10

Versuch XXIV. 24. Juni.

Vier Blattstücke wie oben. Exposition von 11 Uhr 20 Min. bis 11 Uhr 50 Min. Wolkenloser Himmel. Temp. 29—31° C.

Nr.	Blattvolumen.	Blattfläche.	Vor Exposition. Gas-Vol. = CO_2 + Luft.	Nach Exposition. Gas-Vol. = CO_2 + Luft.	Mittlerer Kohlensäuregehalt der Luft in %	Zersetzte CO_2 C. C.	Zersetzte CO_2 pr. 1 D.Q. u. 1 Std. berechnet C. C.	Differenz der Volumina.
1.	0,7	16,86	68,08 = 5,04 + 63,04	68,26 = 2,94 + 65,32	5,8	2,10	24,17	+0,18
2.	0,8	16,99	69,05 = 3,74 + 65,31	69,17 = 2,22 + 66,95	4,3	1,52	17,9	+0,12
3.	0,7	16,67	69,35 = 2,50 + 66,85	69,55 = 1,14 + 68,48	2,6	1,36	16,31	+0,22
4.	0,7	17,03	65,85 = 1,18 + 64,67	65,96 = 0,39 + 65,57	1,2	0,79	9,28	+0,11

Versuch XXV. 26. Juni.

Stücke von vier Blättern wie oben. Exposition von 12 Uhr 30 Min. bis 2 Uhr 30 Min. Der Himmel mit grauen Wolken bedeckt. Temperatur 22—22,5° C.

Nr.	Blattvolumen.	Blattfläche.	Vor Exposition. Gas-Vol. = CO_2 + Luft.	Nach Exposition. Gas-Vol. = CO_2 + Luft.	Mittlerer Kohlensäuregehalt der Luft in %	Zersetzte CO_2 C. C.	Zersetzte CO_2 pr. 1 D.Q. u. 1 Std. berechnet C. C.	Differenz der Volumina.
1.	0,75	14,22	73,43 = 31,03 + 42,4	73,55 = 30,79 + 42,76	42,3	0,30	1,05	+0,32
2.	0,75	13,83	70,49 = 18,9 + 51,59	70,69 = 18,12 + 52,57	26,5	0,78	2,81	+0,20
3.	0,7	13,58	68,29 = 10,35 + 57,92	68,56 = 9,27 + 59,29	14,5	1,08	3,99	+0,27
4.	0,7	14,11	65,87 = 6,90 + 58,96	66,12 = 3,69 + 60,43	9,5	1,21	4,28	+0,25

Versuch XXVI. 27. Juni.

Stücke von vier Blättern wie oben. Exposition von 12 Uhr 30 Min. bis 1 Uhr 15 Min. Die Sonne nur selten von weissen Wolken verschleiert. Temp. 22—28° C.

Nr.	Blattvolumen.	Blattfläche.	Vor Exposition. Gas-Vol. = CO_2 + Luft.	Nach Exposition. Gas-Vol. = CO_2 + Luft.	Mittlerer Kohlensäuregehalt der Luft in %	Zersetzte CO_2 C. C.	Zersetzte CO_2 pr. 1 D.Q. u. 1 Std. berechnet C. C.	Differenz der Volumina.
1.	0,42	12,12	69,07 = 7,26 + 61,81	69,18 = 5,17 + 63,90	9	2,09	23,20	+0,11
2.	0,44	12,30	67,23 = 2,29 + 64,94	67,37 = 1,3 + 66,07	2,6	0,99	10,73	+0,14
3.	0,45	13,18	65,86 = 4,7 + 60,16	66,05 = 2,14 + 63,91	5,3	2,56	25,92	+0,19
4.[1]	0,40	12,05	67,47 = 3,67 + 63,80	67,51 = 1,84 + 65,67	4,1	1,83	20,24	+0,04

Versuch XXVII. 30 Juni.

Stücke von vier ähnlichen Blättern. Exposition von 10 Uhr 20 Min bis 10 Uhr 50 Min. Wolkenloser Himmel. Temp. 28—32° C.

Nr.	Blattvolumen.	Blattfläche.	Vor Exposition. Gas-Vol. = CO_2 + Luft.	Nach Exposition. Cas-Vol. = CO_2 + Luft.	Mittlerer Kohlensäuregehalt der Luft in %	Zersetzte CO_2 C. C.	Zersetzte CO_2 pr. 1 D.Q. u. 1 Std. berechnet C. C.	Differenz der Volumina.
1.	0,7	15,52	68,23 = 5,21 + 63,02	68,36 = 3,11 + 65,25	6,1	2,1	26,42	+0,13
2	0,7	15,46	70,93 = 8,56 + 62,37	71,32 = 6,27 + 65,05	10,4	2,29	29,62	+0,39
3.	0,7	15,12	69,56 = 5,77 + 63,79	69,79 = 3,58 + 66,21	7,3	2,19	28,97	+0,23
4.	0,75	14,9	63,52 = 6,87 + 56,65	63,90 = 4,73 + 59,17	9,1	2,14	28,7	+0,38

Versuch XXVIII. 3. Juli.

Stücke von vier ähnlichen Blättern. Exposition von 12 Uhr 20 Min. bis 1 Uhr 20 Min. Der Himmel war mit Wolken bedeckt, durch welche die Sonne nur dann und wann brach. Temp. 22—26° C.

Nr.	Blattvolumen.	Blattfläche.	Vor Exposition. Gas-Vol. = CO_2 + Luft.	Nach Exposition. Gas-Vol. = CO_2 + Luft.	Mittlerer Kohlensäuregehalt der Luft in %	Zersetzte CO_2 C. C.	Zersetzte CO_2 pr. 1 D.Q. u. 1 Std. berechnet C. C.	Differenz der Volumina.
1.	0,7	15,96	72,65 = 25,47 + 47,18	72,81 = 24,15 + 48,66	34,0	1,32	8,33	+0,16
2.	0,77	16,71	70,53 = 17,43 + 53,10	70,68 = 15,70 + 54,98	23,5	1,73	10,35	+0,15
3.	0,77	16,37	68,39 = 6,44 + 61,95	68,55 = 4,39 + 64,16	8,0	2,05	12,52	+0,16
4.	0,72	15,96	63,83 = 2,98 + 60,85	64,02 = 1,34 + 62,68	3,4	1,64	10,21	+0,19

1) Dieses Blatt hat sich etwas während der Insolation gebogen.

Versuch XXIX. 4. Juli.

Stücke von vier ähnlichen Blättern. Exposition von 12 Uhr 40 Min. Der Himmel vollständig mit weissen Wolken bedeckt. Temp. 23—25° C.

Nr.	Blattvolumen.	Blattfläche.	Vor Exposition. Gas-Vol. = CO_2 + Luft.	Nach Exposition. Gas-Vol. = CO_2 + Luft.	Mittlerer Kohlensäuregehalt der Luft in %	Zersetzte CO_2 C. C.	Zersetzte CO_2 pr. 1 D.Q. u. 1 Std. berechnet C. C.	Differenz der Volumina.
1.	0,7	18,22	70,23 = 20,22 + 50,01	70,36 = 18,09 + 52,27	27,4	2,13	11,69	+0,13
2.	0,7	17,08	68,35 = 7,36 + 60,99	68,56 = 4,94 + 63,62	9,1	2,42	14,16	+0,22
3.	0,75	18,08	68,56 = 5,31 + 63,25	68,71 = 2,49 + 66,22	5,7	2,82	15,6	+0,15
4.	0,7	16,65	64,14 = 1,86 + 62,28	64,06 = 0,32 + 63,74	1,8	1,24	7,44	+0,12

Versuch XXX.

Stücke von vier ähnlichen Blättern. Exposition von 10 Uhr 30 Min. bis 10 Uhr 50 Min. Dauernder Sonnenschein. Temp. 29—31° C.

Nr.	Blattvolumen.	Blattfläche.	Vor Exposition. Gas-Vol. = CO_2 + Luft.	Nach Exposition. Gas-Vol. = CO_2 + Luft.	Mittlerer Kohlensäuregehalt der Luft in %	Zersetzte CO_2 C. C.	Zersetzte CO_2 pr. 1 D.Q. u. 1 Std. berechnet C. C.	Differenz der Volumina.
1.	0,75	15,68	67,42 = 5,19 + 62,23	67,53 = 3,87 + 63,66	6,7	1,32	25,25	+0,11
2.	0,6	15	68,06 = 3,60 + 64,46	68,19 = 2,78 + 65,41	4,6	0,82	16,4	+0,13
3.	0,7	16,16	68,22 = 2,38 + 65,84	68,35 = 1,42 + 66,93	2,8	0,96	15,9	+0,13
4.	0,67	14,95	64,84 = 1,25 + 63,59	64,98 = 0,78 + 64,20	1,5	0,47	9,43	+0,14

Die Versuche mit den Blättern von Typha latifolia, welche in dieser Versuchsreihe zusammengestellt sind, haben von allen die regelmässigsten Resultate geliefert. Um einen bessern Ueberblick derselben zu erhalten, habe ich auf der Tafel sämmtliche Versuche dieser Reihe von XVIII an in Curven dargestellt. Jedem Versuche entspricht eine besondere Curve. Die Procente des Kohlensäuregehaltes der Luft bilden die Abscissen, die zersetzte Menge derselben die Ordinaten der Curven. Die Curven sind auf doppelte Weise aufgetragen. Bei den unteren sind einfach die in einer Stunde von 1 Decim. Quad. Blattfläche zersetzten Cub. Centim. der Kohlensäure als Ordinaten benutzt. Jeder Punkt bedeutet das Resultat einer Analyse. Diese Curven sind also rein empirischer Natur. Bei der Construction der oberen Curven ist angenommen, dass das Optimum in einer zwischen 5% und 6% Kohlensäure enthaltenden Luft liegt. Die zwischen diesen Grenzen zersetzten Kohlensäuremengen sind gleich 100 gesetzt, und die Mengen, welche in der Luft anderer Zusammensetzungen zersetzt waren, wurden dem entsprechend berechnet und als Ordinaten aufgetragen.

Um den Einfluss der Lichtintensität besser zu veranschaulichen, sind die Versuche von ganz hellen Tagen durch ausgezogene, die der Tage mittlerer Helligkeit durch unterbrochene, und endlich die Versuche, welche bei sehr trübem Wetter angestellt wurden, durch punctirte Linien dargestellt.

Betrachten wir nun diese Curven, so sehen wir: 1) dass sie sämmtlich zwischen 1 % und 5 % steigen, und nach 7 % wieder zu sinken beginnen, das heisst, dass, wenn der Kohlensäuregehalt der Luft von 1 % bis 5 % allmählig zunimmt, so wird auch dadurch die zersetzende Thätigkeit immer lebhafter. Die Luft, welche etwa 5 bis 7 % Kohlensäure enthält, scheint für die Sauerstoffausscheidung der Typha-Blätter bei intensivem Lichte besonders geeignet zu sein. Eine weitere Zunahme des Kohlensäuregehaltes wirkt schädlich.

2) Dass die Steilheit der aufsteigenden Theile der Curven bedeutend grösser ist als die der absteigenden, zeigt, dass der günstige Einfluss der Zunahme des Kohlensäuregehaltes, bevor das Optimum erreicht ist, grösser ist als der nachtheilige, wenn dasselbe schon überschritten ist.

3) Nicht sämmtliche obere Curven zeigen sowohl beim Steigen wie bei dem Sinken dieselbe Steilheit. In der aufsteigenden Periode sind die ausgezogenen steiler als die unterbrochenen und die punctirte Curve ist sogar beinahe horizontal, in der absteigenden ist gerade das Gegentheil der Fall, die grösste Steilheit haben hier die punctirten, die kleinste die ausgezogenen Linien. Im Allgemeinen ist die Steilheit der oberen Curve um so grösser beim Steigen, um so kleiner beim Sinken, je höher die entsprechende untere Curve liegt. Die höhere oder tiefere Lage der unteren Curven, das heisst die grössere oder kleinere absolute Menge der von der Blattflächeneinheit zersetzten Kohlensäure rührt aber grösstentheils von den Differenzen der Lichtintensität verschiedener Versuchstage her. Somit sehen wir, dass die Abhängigkeit der Sauerstoffausscheidung von dem Kohlensäuregehalte der Luft seinerseits von der Lichtintensität abhängt. Die Begünstigung der zersetzenden Blattthätigkeit durch die Zunahme des Kohlensäuregehalts ist um so grösser, je stärker die Lichtintensität ist. Bei schwachem diffusen Lichte ist diese Zunahme wenigstens ohne Einfluss auf die Sauerstoffausscheidung. Es ist höchst wahrscheinlich, dass jeder Lichtintensität ein anderes Optimum des Kohlensäuregehaltes der Luft zukommt, bei welchem die Sauerstoffausscheidung ein Maximum erreicht. Je stärker die Lichtintensität, um so höher liegt dieses Optimum. Die Curve XXVII. welche das Resultat eines an besonders hellem Tage angestellten Versuches darstellt, steigt noch nach 7 %.

Das Ueberschreiten des Optimums wirkt um so schädlicher, je schwächer die Lichtintensität ist.

Diese Thatsachen, welche wir auch bei den Versuchen mit Glyceria gefunden haben, sind nicht ganz neu, auf etwas Aehnliches habe ich schon

oben bei der Besprechung von Saussure's Versuchen aufmerksam gemacht. Wir sahen dort, dass dieselbe Menge der Luft beigemengter Kohlensäure, welche im intensiven Lichte die Vegetation begünstigte, im schwachen diffusen Lichte auf dieselbe schädlich wirkte. Man darf zwar diese Versuche mit den meinigen nicht identificiren, da es sich nur um die Sauerstoffausscheidung handelt, doch eine gewisse Aehnlichkeit ist nicht zu verkennen.

Wenn nun einmal bewiesen ist, dass der Einfluss des Kohlensäuregehaltes der Luft auf die Sauerstoffausscheidung seinerseits von der Lichtintensität abhängt, so ist man auch berechtigt, umgekehrt anzunehmen, dass die Wirkung der Lichtintensität von dem Kohlensäuregehalte der Luft abhängt. Je reicher die Luft an Kohlensäure ist, desto grösser ist die Wirkung der Lichtintensität. Ein Blick auf die unteren Curven, macht das sofort anschaulich. Die Differenzen zwischen den Ordinaten einzelner Curven rühren hauptsächlich von der Ungleichheit der Lichtintensität an verschiedenen Tagen, an welchen die entsprechenden Versuche angestellt waren, her. Diese Differenzen wachsen aber mit der Abscissengrösse. Zwischen 5% und 6% sind sie bedeutend grösser, als zwischen 1% und 2% (vergleichen wir nur die Curven XXI, XIX und XXX), das heisst, die Sauerstoffausscheidung in einer Luft, welche 5% bis 6% Kohlensäure enthält, wird durch eine stärkere Lichtintensität mehr beschleunigt, als in der Luft, welcher nur 1% bis 2% Kohlensäure beigemengt ist. Daraus folgt aber, dass eine allgemein gültige einfache Beziehung der Lichtintensität zur Sauerstoffausscheidung unmöglich ist, und wenn man auch eine solche Beziehung in einigen Fällen gefunden hat (Wolkoff's Versuche), so darf man dieses Resultat keineswegs verallgemeinern. Mayer[1]) sucht die Proportionalität der Sauerstoffausscheidung mit der Lichtintensität theoretisch zu begründen, indem er sich darauf stützt, dass zwischen der zur Wirksamkeit gelangenden Kraftgrösse und der Grösse der geleisteten Arbeit eine Proportionalität bestehen müsse. Dagegen ist aber einzuwenden, dass die zur Wirkung gelangende Lichtmenge nicht nothwendig der Lichtintensität proportional sein muss; schon die Schnelligkeit der Diffusionsvorgänge musste hier eine Grenze setzen. Meine Versuche zeigen aber, dass eine solche Proportionalität nur unter gewissen Umständen bestehen konnte, unter anderen aber nicht. Bestände sie z. B. in einer 6% Kohlensäure enthaltenden Luft, so konnte sie in einer nur 2% Kohlensäure enthaltenden Luft nicht bestehen. Daraus ist aber der weitere Schluss zu ziehen, dass man aus den Versuchen, welche über die Wirkung der Lichtintensität in künstlicher kohlensäurereicher Atmosphäre angestellt sind, nicht ohne Weiteres auf die Verhältnisse im Freien schliessen darf. Der Einfluss der Lichtintensität auf die Sauerstoffausscheidung ist im Freien, wo kaum $\frac{1}{20}$%

---

1) Lehrbuch der Agriculturchemie. Heidelberg, 1871, S. 29.

Kohlensäure vorhanden ist, wahrscheinlich viel kleiner, als in unseren Experimenten in kohlensäurereicher künstlicher Atmosphäre. Wollten wir die Wirkung verschiedener Lichtintensitäten auf die Kohlensäurezersetzung im Freien studiren, so müssten wir nach einer von der bisherigen ganz verschiedenen Methode suchen.

Was die Ursache des Einflusses des Kohlensäuregehaltes der Luft auf die Sauerstoffausscheidung anbetrifft, so ist diese wahrscheinlich in dem Einflusse der partiären Pressungen einzelner Gase auf die Diffusions- und Absorptions-Erscheinungen derselben zu suchen.

Die Zersetzung der Kohlensäure im Blatte zerstört das Gleichgewicht zwischen den partiären Pressungen der äusseren und der inneren Atmosphäre. Die Differenzen dieser Pressungen sind um so grösser, je lebhafter die Zersetzung und je kohlensäurereicher die äussere Atmosphäre ist. Je grösser aber diese Differenzen sind, desto schneller gehen die Diffusionsvorgänge vor sich, somit muss diese Schnelligkeit sowohl von der Lichtintensität als von dem Kohlensäuregehalte der Luft abhängen, und beide diese Einflüsse müssen sich gegenseitig bedingen. Die Schnelligkeit der Diffusionsvorgänge muss aber wieder auf den Zersetzungsprocess von Einfluss sein. Damit kann aber nicht erklärt werden, warum ein zu grosser Kohlensäuregehalt der Luft schädlich auf die Sauerstoffausscheidung einwirkt, vielleicht erschwert er die Athmung, wodurch die Blätter weniger lebensfähig werden, was jedoch eine blosse Vermuthung ist.

Dritte Versuchsreihe:

mit *Nerium Oleander*.

Versuch XXXI. 2. Juli.

Vier ähnliche Blätter. Exposition von 12 Uhr 20 Min. bis 1 Uhr 50 Min. Sonnenschein und bewölkter Himmel abwechselnd. Temperatur 24—27° C.

Nr.	Blattvolumen.	Blattfläche.	Vor Exposition. Gas-Vol. = CO_2 + Luft.	Nach Exposition. Gas-Vol. = CO_2 + Luft.	Mittlerer Kohlensäuregehalt der Luft in %	Zersetzte CO_2 C. C.	Zersetzte CO_2 pr. 1 D. Q. u. 1 Std. berechnet C. C.	Differenz der Volumina.
1.	0,75	16,98	72,16 = 25,47 + 54,98	72,34 = 22,11 + 51,03	33	3,36	13,18	+0,18
3.	0,7	16,23	69,41 = 7,09 + 62,32	69,61 = 3,78 + 65,83	7,8	3,31	13,60	+0,20
3.	0,75	17,81	68,37 = 4,07 + 64,98	68,61 = 0,75 + 67,86	3,5	3,32	12,42	+0,24
4.	0,6	16,3	64,84 = 3,19 + 61,65	65,01 = 0,18 + 65,83	2,6	3,01	12,31	+0,17

Versuch XXXII. 5. Juli.

Vier ähnliche Blätter. Exposition von 12 Uhr 20 Min. bis 1 Uhr 50 Min. Der Himmel wie bei vorigem Versuche. Temp. 23—26° C.

Nr.	Blattvolumen.	Blattfläche.	Vor Exposition. Gas-Vol. = CO_2 + Luft.	Nach Exposition. Gas-Vol. = CO_2 + Luft.	Mittlerer Kohlensäuregehalt der Luft in %	Zersetzte CO_2 C. C.	Zersetzte CO_2 pr. 1 D.Q. u. 1 Std. berechnet C.C.	Differenz der Volumina.
1.	0,75	18,46	72,83 = 26,61 + 46,22	72,90 = 23,69 + 49,21	34,4	2,92	10,54	0,07
2.	0,8	19,7	69,24 = 21,20 + 48,04	69,38 = 18,3 + 51,08	28,5	2,90	9,90	0,14
3.	0,8	17,5	69,37 = 14,42 + 55,95	69,53 = 10,41 + 59,12	18,6	3,01	11,47	0,16
4.	0,78	18,07	66,32 = 9,48 + 56,84	66,43 = 6,65 + 59,78	12,6	2,83	10,51	0,11

Versuch XXXIII. 8. Juli.

Drei ähnliche Blätter. Exposition von 12 Uhr 30 Min. bis 1 Uhr. Dauernder Sonnenschein. Temp. 30—32° C.

Nr.	Blattvolumen.	Blattfläche.	Vor Exposition. Gas-Vol. = CO_2 + Luft.	Nach Exposition. Gas-Vol. = CO_2 + Luft.	Mittlerer Kohlensäuregehalt der Luft in %	Zersetzte CO_2 C. C.	Zersetzte CO_2 pr. 1 D.Q. u. 1 Std. berechnet C. C.	Differenz der Volumina.
1.	1,03	24,08	68,19 = 6,81 + 61,30	68,45 = 5,32 + 63,13	8,9	1,49	12,37	+0,26
2.	0,78	18,25	67,01 = 3,67 + 63,34	67,12 = 2,63 + 63,50	4,7	1,04	11,40	+0,11
3.	0,8	18,51	67,12 = 2,03 + 65,09	67,16 = 1,25 + 65,91	2,5	0,78	8,43	+0,04

Versuch XXXIV. 11. August.

Vier der Farbe und der Dicke nach ähnliche Blätter. Exposition von 1 Uhr bis 3 Uhr. Wegen des bewölkten Himmels nur diffuses Licht.

Nr.	Blattvolumen.	Blattfläche.	Vor Exposition. Gas-Vol. = CO_2 + Luft.	Nach Exposition. Gas-Vol. = CO_2 + Luft.	Mittlerer Kohlensäuregehalt der Luft in %	Zersetzte CO_2 C. C.	Zersetzte CO_2 pr. 1 D.Q. u. 1 Std. berechnet C. C.	Differenz der Volumina.
1.	0,95	20,4	70,28 = 20,22 + 50,06	70,23 = 19,23 + 51,00	28,2	0,99	2,42	−0,05
2.	0,95	20,5	69,88 = 13,59 + 56,29	70,14 = 12,30 + 57,84	18,5	1,29	3,23	+0,26
3.	0,85	17,98	69,81 = 9,89 + 59,92	69,98 = 8,59 + 61,39	13,2	1,30	3,62	+0,17
4.	0,85	18,20	66,51 = 3,16 + 63,35	66,72 = 1,51 + 65,21	3,6	1,65	4,31	+0,21

Versuch XXXV. 13. August.

Vier ähnliche Blätter. Exposition von 10 Uhr 20 Min. bis 10 Uhr 50 Min. Dauernder Sonnenschein. Temp. 25—27° C.

Nr.	Blattvolumen.	Blattfläche.	Vor Exposition.	Nach Exposition.	Mittlerer Kohlensäuregehalt der Luft in %	Zersetzte CO_2 C. C.	Zersetzte CO_2 pr. 1 D.Q. u. 1 Std. berechnet C. C.	Differenz der Volumina.
			Gas-Vol. = CO_2 + Luft.	Gas-Vol. = CO_2 + Luft.				
1.	0,5	13,11	69,61 = 16,16 + 53,45	69,64 = 15,13 + 54,51	22,3	1,03	15,72	+0,03
2.	0,5	12,83	69,57 = 7,71 + 61,86	69,54 = 6,49 + 63,05	10,2	1,22	19,02	−0,03
3.	0,5	12,79	69,63 = 3,91 + 65,72	69,51 = 2,73 + 66,78	4,8	1,18	18,44	−0,12
4.	0,5	12,41	67,61 = 2,11 + 65,50	67,54 = 7,03 + 66,51	2,3	0,97	15,55	−0,07

Versuch XXXVI. 15. August.

Zwei Paare ähnlicher Blätter. Nr. 1 ähnlich dem Nr. 2, Nr. 3 ähnlich dem Nr. 4. Exposition von 10 Uhr 50 Min. bis 11 Uhr 20 Min. Dauernder Sonnenschein.

Nr.	Blattvolumen.	Blattfläche.	Vor Exposition.	Nach Exposition.	Mittlerer Kohlensäuregehalt der Luft in %	Zersetzte CO_2 C. C.	Zersetzte CO_2 pr. 1 D.Q. u. 1 Std. berechnet C. C.	Differenz der Volumina.
			Gas-Vol. = CO_2 + Luft.	Gas-Vol. = CO_2 + Luft.				
1.	0,8	17,80	70,00 = 7,01 + 62,99	70,13 = 5,17 + 64,96	8,7%	1,84	20,56	+0,13
2.	0,8	17,97	69,05 = 2,17 + 66,88	69,09 = 0,61 + 68,48	2%	1,46	16,25	+0,04
3.	0,7	15,0	69,77 = 6,57 + 63,20	69,81 = 5,24 + 64,57	8,4%	1,33	17,73	+0,04
4.	0,73	15,8	65,71 = 2,16 + 63,55	65,77 = 1,07 + 64,70	2,4%	1,09	13,79	+0,06

Versuch XXXVII. 16. August.

Zwei Paare Blätter wie vorstehend. Exposition von 11 Uhr bis 11 Uhr 30 Min. Dauernder Sonnenschein. Temp. 30—32° C.

Nr.	Blattvolumen.	Blattfläche.	Vor Exposition.	Nach Exposition.	Mittlerer Kohlensäuregehalt der Luft in %	Zersetzte CO_2 C. C.	Zersetzte CO_2 pr. 1 D.Q. u. 1 Std. berechnet C. C.	Differenz der Volumina.
			Gas-Vol. = CO_2 + Luft.	Gas-Vol. = CO_2 + Luft.				
1.	0,8	19,36	69,58 = 7,81 + 61,77	69,71 = 6,30 + 63,41	10,1	1,51	15,6	+0,13
2.	0,8	18,40	69,61 = 1,94 + 67,67	69,77 = 0,78 + 68,99	1,9	1,16	12,6	+0,16
3.	0,78	17,19	69,89 = 7,89 + 62,00	70,02 = 6,60 + 63,42	10,4	1,29	15,01	+0,13
4.	0,8	16,50	65,50 = 1,78 + 63,72	65,71 = 0,56 + 65,15	1,8	1,22	14,78	+0,21

Versuch XXXVIII. 17. August.

Blätter wie oben. Exposition von 11 Uhr bis 11 Uhr 30 M. Dauernder Sonnenschein. Temp. 30—32° C.

Nr.	Blattvolumen.	Blattfläche-	Vor Exposition.	Nach Exposition.	Mittlerer Kohlensäuregehalt der Luft in %	Zersetzte CO_2 C. C.	Zersetzte CO_2 pr. 1 D.Q. u. 1 Std. berechnet C. C.	Differenz der Volumina.
			Gas-Vol. = CO_2 + Luft.	Gas-Vol. = CO_2 + Luft.				
1.	0,95	20,82	69,29 = 7,99 + 61,30	69,49 = 6,36 + 63,13	10,4	1,63	15,66	+0,20
2.	1,0	21,18	65,52 = 1,97 + 63,55	65,64 = 0,65 + 64,99	1,8	1,32	12,46	+0,12
3.	0,95	18,81	69,81 = 8,73 + 61,08	69,99 = 7,38 + 62,61	11,7	1,35	14,36	+0,18
4.	0,95	20,11	69,27 = 3,62 + 65,65	69,41 = 2,16 + 67,25	4,1	1,46	14,02	+0,14

Versuch XXXIX. 18. August.

Blätter wie oben. Exposition von 12 Uhr 5 Min. bis 12 Uhr 35 Min. Die Sonne oft von weissen Wolken umschleiert. Temp. 23—30° C.

Nr.	Blattvolumen.	Blattfläche.	Vor Exposition.	Nach Exposition.	Mittlerer Kohlensäuregehalt der Luft in %	Zersetzte CO_2 C. C.	Zersetzte CO_2 pr. 1 D.Q. u. 1 Std. berechnet C. C.	Differenz der Volumina.
			Gas-Vol. = CO_2 + Luft.	Gas-Vol. = CO_2 + Luft.				
1.	0,7	17,05	69,43 = 8,33 + 61,10	69,54 = 7,85 + 61,74	11,7	3,48	5,63	+0,16
2.	0,73	15,8	69,10 = 1,73 + 67,37	69,27 = 1,33 + 67,94	2,2	0,40	5,06	+0,17
3.	0,65	15,8	69,55 = 8,34 + 61,21	69,87 = 7,89 + 61,98	11,6	0,43	5,44	+0,32
4.	0,65	14,0	66,02 = 3,15 + 62,87	66,28 = 2,67 + 63,61	4,4	0,48	6,44	+0,26

Versuch XL. 21. August.

Blätter wie oben. Exposition von 11 Uhr 50 Min. bis 12 Uhr 50 M. Die Sonne nur selten von weissen Wolken verschleiert. Die Apparate wurden mit Papierschirmen beschattet.

Nr.	Blattvolumen.	Blattfläche.	Vor Exposition.	Nach Exposition.	Mittlerer Kohlensäuregehalt der Luft in %	Zersetzte CO_2 C. C.	Zersetzte CO_2 pr. 1 D.Q. u. 1 Std. berechnet C. C.	Differenz der Volumina.
			Gas-Vol. = CO_2 + Luft.	Gas-Vol. = CO_2 + Luft.				
1.	0,7	14,9	68,83 = 8,16 + 60,67	69,07 = 6,95 + 62,15	10,9	1,21	8,12	+0,24
2.	0,7	15,08	69,01 = 2,31 + 66,70	69,15 = 1,01 + 68,13	2,9	1,3	8,61	+0,14
3.	0,7	14,18	69,15 = 8,79 + 60,36	69,37 = 7,56 + 61,81	11,8	1,23	8,67	+0,22
4.	0,7	13,29	65,13 = 1,76 + 63,37	65,37 = 0,95 + 64,42	1,9	0,81	6,09	+0,24

Versuch XLI. 22. August.

Blätter wie oben. Exposition von 11 Uhr 15 Min. bis 12 Uhr. Ununterbrochener Sonnenschein. Ein Papierschirm beschattet die Apparate. Temp. 30—31° C.

Nr.	Blattvolumen.	Blattfläche.	Vor Exposition.	Nach Exposition.	Mittlerer Kohlensäuregehalt der Luft in %	Zersetzte CO_2 C. C.	Zersetzte CO_2 pr. 1 D. Q. u. 1 Std. berechnet C. C.	Differenz der Volumina.
			Gas-Vol. = CO_2 + Luft.	Gas-Vol. = CO_2 + Luft.				
1.	0,65	14,00	68,46 = 7,26 + 61,20	68,61 = 6,21 + 62,40	9,8	1,05	10,00	+0,15
2.	0,6	13,64	68,71 = 1,68 + 67,03	68,78 = 0,58 + 68,20	1,8	1,10	10,74	+0,07
3.	0,53	12,30	69,59 = 7,99 + 61,60	69,61 = 6,72 + 62,89	10,6	1,27	13,77	+0,02
4.	0,55	12,67	65,29 = 1,72 + 63,57	65,32 = 0,82 + 64,50	1,9	0,90	9,47	+0,03

Versuch XLII. 23. August.

Blätter wie oben. Exposition von 12 Uhr bis 12 Uhr 40 M. Dauernder Sonnenschein. Temp. 31—32° C.

Nr.	Blattvolumen.	Blattfläche.	Vor Exposition.	Nach Exposition.	Mittlerer Kohlensäuregehalt der Luft in %	Zersetzte CO_2 C. C.	Zersetzte CO_2 pr. 1 D. Q. u. 1 Std. berechnet C. C.	Differenz der Volumina.
			Gas-Vol. = CO_2 + Luft.	Gas-Vol. = CO_2 + Luft.				
1.	0,67	17,72	68,63 = 6,08 + 62,55	68,81 = 4,95 + 63,86	8,0	1,13	9,56	+0,18
2.	0,7	15,8	68,48 = 0,93 + 67,55	68,49 = 0,10 + 68,39	0,8	0,83	7,88	+0,01
3.	0,6	14,45	69,51 = 5,97 + 63,54	69,72 = 5,06 + 64,66	8,0	0,91	9,44	+0,21
4.	0,6	14,1	66,51 = 1,13 + 65,38	66,59 = 0,24 + 66,35	1,0	0,89	9,46	+0,08

Versuch XLIII. 24. August.

Blätter wie oben. Exposition von 11 bis 12 Uhr. Dauernder Sonnenschein. Ein Papierschirm beschattet die Apparate. Temp. 27—30° C.

Nr.	Blattvolumen.	Blattfläche.	Vor Exposition.	Nach Exposition.	Mittlerer Kohlensäuregehalt der Luft in %	Zersetzte CO_2 C. C.	Zersetzte CO_2 pr. 1 D. Q. u. 1 Std. berechnet C. C.	Differenz der Volumina.
			Gas-Vol. = CO_2 + Luft.	Gas-Vol. = CO_2 + Luft.				
1.	0,7	14,51	70,38 = 1,41 + 62,97	70,46 = 0,87 + 69,59	1,6	0,54	3,72	+0,08
2.	0,67	14,44	69,96 = 6,49 + 63,47	70,19 = 5,33 + 64,86	8,4	1,16	8,05	+0,23
3.	0,7	13,55	70,29 = 1,46 + 68,83	70,46 = 0,89 + 69,57	1,7	0,57	4,21	+0,13
4.	0,7	13,67	67,29 = 6,88 + 60,41	67,35 = 5,39 + 61,96	8,9	1,24	9,07	+0,31

Versuch XLIV. 25. August.

Blätter wie oben. Exposition von 12 Uhr 37 Min. bis 4 Uhr 37 M. Dauernder Sonnenschein. Ein Papierschirm beschattet die Apparate. Temp. 29—31° C.

Nr.	Blattvolumen.	Blattfläche.	Vor Exposition. Gas-Vol. = CO_2 + Luft.	Nach Exposition. Gas-Vol. = CO_2 + Luft.	Mittlerer Kohlensäuregehalt der Luft in %	Zersetzte CO_2 C. C.	Zersetzte CO_2 pr. 1 D.Q. u. 1 Std. berechnet C. C.	Differenz der Volumina.
1.	0,8	18,25	69,09 = 1,90 + 67,19	69,18 = 0,42 + 68,76	1,6	1,48	8,11	+0,09
2.	0,8	17,47	69,15 = 6,89 + 62,26	69,21 = 4,63 + 64,58	8,3	2,26	12,94	+0,06
3.	0,8	17,29	69,55 = 1,6 + 67,95	69,69 = 0,35 + 69,34	1,4	1,25	7,2	+0,14
4.	0,8	16,58	65,60 = 5,9 + 59,70	65,81 = 3,75 + 62,06	7	2,15	12,95	+0,21

Durch diese Versuchsreihe wollte ich mich überzeugen, in wie weit die an Glyceria und Typha erhaltenen Resultate sich auf andere Pflanzen übertragen lassen. Im Allgemeinen sind die Resultate dieselben, wie in den beiden ersten Versuchsreihen, doch enthalten sie viel mehr Unregelmässigkeiten. Das Optimum scheint für Oleander etwas tiefer zu liegen als bei Typha. Nicht alle Versuche sind entscheidend genug. Die Versuche XXXIII, XXXVI, XLIII, XLIV zeigen eine auffallend grössere Zersetzung in kohlensäurereicherer als in kohlensäureärmerer Luft, der Versuch XXIV zeigt sehr schön den schädlichen Einfluss zu grosser Kohlensäurequantitäten bei geringer Lichtintensität, im Experimente XXXII bei stärkerem Lichte hat auch ein Kohlensäuregehalt von 36 % nicht geschadet. Andere Versuche sind zum Theil zweifelhaft ausgefallen, so hauptsächlich die Versuche XXXI, XLI und XLII, es ist aber wohl zu bemerken, dass auch hier nicht etwa Schwankungen nach beiden Seiten vorhanden sind, denn nirgends war die Zersetzung bei geringerem Kohlensäuregehale stärker als bei höherem.

Von anderen Pflanzen habe ich noch einen Versuch mit Prunus laurocerasus, und einen mit Myagrum perfoliatum ausgeführt.

Versuch XLV. 11. Juni.

Drei ähnliche Blätter von Prunus laurocerasus. Exposition von 9 bis 11 Uhr. Fast ununterbrochener Sonnenschein. Temp. 23—29° C.

Nr.	Blattvolumen	Blattfläche.	Vor Exposition. Gas-Vol. = CO_2 + Luft.	Nach Exposition. Gas-Vol. = CO_2 + Luft.	Mittlerer Kohlensäuregehalt der Luft in %	Zersetzte CO_2 C. C.	Zersetzte CO_2 pr. 1 D.Q. u. 1 Std. berechnet C. C.	Differenz der Volumina.
1.	0,95	29,11	67,80 = 4,59 + 63,21	68,01 = 2,03 + 65,98	4,9	2,56	4,05	+0,21
2.	0,95	27,83	66,80 = 10,82 + 55,08	67,06 = 8,24 + 58,82	14,2	2,56	4,60	+0,2
3.	0,97	16,86	64,80 = 11,05 + 60,73	65,02 = 2,31 + 62,71	4,3	1,76	3,24	+0,22

Versuch XLVI. 25. Juni.

Drei Blätter von Myagrum perfoliatum. Exposition von 12 Uhr 20 Min. bis 1 Uhr 5 Min. Die Sonne etwas mit weissen Wolken gedämpft.

Nr.	Blattvolumen.	Blattfläche.	Vor Exposition. Gas-Vol. = CO_2 + Luft	Nach Exposition. Gas-Vol. = CO_2 + Luft.	Mittlerer Kohlensäuregehalt der Luft in %	Zersetzte CO_2 C. C.	Zersetzte CO_2 pr. 1 D.Q. u. 1 Std. berechnet C. C.	Differenz der Volumina.
1.	0,35	9,22	66,64 = 2,22 + 64,50	66,72 = 1,07 + 65,65	2,5	1,15	16,49	+0,08
2	0,35	8,5	67,51 = 6,09 + 61,42	67,50 = 4,98 + 52,52	8,2	1,11	17,41	−0,01
3.	0,35	9,01	67,45 = 2,09 + 65,86	67,86 = 0,97 + 66,80	2,3	1,12	16,55	−0,06

Wenn man überhaupt aus diesen vereinzelten Versuchen irgend einen Schluss ziehen darf, so kann man vermuthen, dass für Prunus laurocerasus das Optimum der Kohlensäuregehalte der Luft nicht unter 4%, für Myagrum perfoliatum aber tiefer liegt.

Resultate. Die durch die eben beschriebenen Versuche erlangten Resultate will ich nun in folgenden Sätzen kurz zusammenfassen:

1) Die Zunahme an Kohlensäuregehalt der Luft bis zu einer gewissen Grenze (Optimum) begünstigt die Sauerstoffauscheidung, über diese Grenze hinaus wirkt sie darauf mehr oder weniger schädlich.

2) Das Optimum liegt für verschiedene Pflanzen verschieden hoch, für Glyceria spectabilis an hellen Tagen etwa zwischen 8 und 10%, für Typha latifolia zwischen 5 und 7%, für Oleander wahrscheinlich noch etwas tiefer.[1])

3) Die Begünstigung der Sauerstoffausscheidung durch eine gewisse Zunahme an Kohlensäuregehalt der Luft unterhalb des Optimums ist viel grösser als die Hemmung derselben durch eine ähnliche Zunahme oberhalb des Optimums.

4) Je stärker die Lichtintensität ist, desto mehr wird die Sauerstoffausscheidung durch die Zunahme des Kohlensäuregehaltes bis zum Optimum begünstigt, und bei Ueberschreiten des Optimums desto weniger gehemmt.

5) Aus dem Satze 4 folgt, dass der Einfluss der Lichtintensität auf die Sauerstoffausscheidung um so grösser ist, je mehr Kohlensäure der Luft beigemengt ist.

---

1) In Folge des oben erörterten Fehlers in der Art der Berechnung des mittleren Kohlensäuregehaltes der Luft sind vielleicht die Optima für Glyceria und Typha etwas zu hoch angegeben. Doch nach dem Versuche XIII kann das Optimum für Glyceria keineswegs unter 5%, nach den Versuchen XXV und XXX für Typha nicht unter 4% liegen, denn noch nach der Beendigung des Experimentes waren die Blätter, welche weniger Kohlensäure zersetzten, in einer Atmosphäre, welche in erstem Falle nahezu 5, in letztem nahezu 4% Kohlensäure enthielt.

Nur weitere Untersuchungen können zeigen, in wie weit diese Sätze für verschiedene Pflanzen eine allgemeine Geltung haben, und wie sich die Verhältnisse bei ganz geringem Kohlensäuregehalte zwischen $^1/_{20}$% bis 1% gestalten.

Krakau, 25. October 1872.

XII.

Ueber den Einfluss des Lichts auf das Wachsthum der Blätter.

Von

Dr. K. Prantl.

Nachdem die retardirende Wirkung des Lichts auf das Wachsthum der Stengel sowohl durch die älteren Erfahrungen über Etiolement und Heliotropismus, als auch durch die neuerdings von Sachs nachgewiesene tägliche Periode festgestellt war, schien es von Wichtigkeit zu erfahren, wie sich die in dauernder Finsterniss weit hinter der normalen Grösse zurückbleibenden Blätter dem periodischen Wechsel von Tag und Nacht gegenüber verhalten. Ich führte desshalb im Sommer 1872 nachfolgend mitgetheilte Versuchsreihen im Laboratorium des botanischen Instituts in Würzburg aus.

Von früheren Arbeiten, welche die Periodicität des Blattwachsthums zum Gegenstand hatten, wäre nur die Untersuchung Caspary's [1]) zu erwähnen; allein dass dessen Methode nicht hinreichte, um insbesondere betreffs der Lichtwirkung zu einem sicheren Resultate zu gelangen, wurde bereits von Sachs [2]) hervorgehoben.

Da die Beschaffenheit des Materials es nicht ermöglichte, einen graphischen Apparat zur Aufzeichnung der Zuwachse anzuwenden, so blieb nichts übrig, als an möglichst rasch wachsenden Blättern in bestimmten Zeiträumen die Messung mit dem Maassstabe vorzunehmen. Es wurden zu dem Zwecke an den beiden Längsrändern in der Nähe des grössten Breitendurchmessers zwei gegenüberliegende Punkte mittels Tusche aufgetragen und deren jeweilige Entfernung als Breite notirt; als Länge galt die

---

1) Ueber die tägliche Periode des Wachsthums des Blattes der Victoria regia und des Pflanzenwachsthums überhaupt. Flora 1856 pag. 113 ff.

2) Arbeiten des botanischen Instituts in Würzburg II. Heft. pag. 185 ff.

Entfernung von der Spitze bis zu einem nahe an der Basis gelegenen ebenso bezeichneten Punkte. Es blieb hiebei nur eine Fehlerquelle übrig, nämlich der zum Flachlegen der Spreite bei jeder Messung nöthige Zug; allein derselbe wurde gerade nur soweit angewendet, als unbedingt nöthig schien; durch die oftmalige Uebung glaube ich auch erreicht zu haben, dass derselbe bei allen Messungen ziemlich gleich stark war. Hiefür bürgt offenbar noch die auffallende Uebereinstimmung in den Zuwachsen der Länge und Breite; denn für erstere kommt diese Fehlerquelle kaum in Betracht.

Die Stunden, in welchen die Messungen vorgenommen wurden, waren 6 Uhr Morgens, 9 Uhr Vormittags, 12 Uhr Mittags, 3 Uhr Nachmittags, 6 Uhr Abends, 9 Uhr und 12 Uhr Nachts. Einige Versuche zeigten, dass die Messung um 3 Uhr Morgens nicht unbedingt nöthig war, indem ich annähernd dasselbe Resultat erhielt, wenn ich den für den sechsstündigen Zeitraum von 12 bis 6 Uhr erhaltenen Zuwachs halbirte und die Hälfte für jeden der beiden dreistündigen Zeiträume eintrug.

Ein weiteres Verfahren, welchem ich die durch die Messung gewonnenen Zahlen unterzog, bestand darin, dass ich aus je zwei aufeinanderfolgenden dreistündigen Zuwachsen das Mittel nahm und dieses auf die Mitte des betreffenden sechsstündigen Zeitraumes auftrug; hiedurch suchte ich mich zunächst zu überzeugen, in wie weit die Form der gewonnenen Curven durch ein derartiges Verfahren etwa geändert würde; ferner wurden so die unvermeidlichen Ablesungsfehler weniger fühlbar, indem die Hälfte des in jedem dreistündigen Zeitraum möglicherweise gemachten Fehlers auf die beiden angrenzenden vertheilt wurde; das Gleiche gilt von den wirklich vorhandenen unregelmässigen Stössen des Wachsthums, auf deren Verfolgung es ja hier nicht ankommen konnte.

Schliesslich muss noch bemerkt werden, dass die zu den Versuchen verwendeten Pflanzen von Cucurbita Pepo, Ferdinanda eminens und Nicotiana Tabacum im Gewächshause in grossen Töpfen erzogen waren und während der Versuchsdauer am Nordfenster standen (am Südfenster konnte die Temperatur nicht constant genug erhalten werden); unmittelbar neben jeder Pflanze hing ein Thermometer.

Tabellen.

In den Tabellen I, II, III und VIII sind sowohl die unmittelbar beobachteten Zuwachse (beob.), als die umgerechneten (umg.) verzeichnet; erstere sind auf die Stunde, um welche sie abgelesen wurden, eingetragen, letztere auf die Mitte des sechsstündigen Zeitraums; es ist somit jede Zahl der letzteren das Mittel aus der mit ihr auf gleicher Linie stehenden und der nächstfolgenden beobachteten Zahl. In den Tabellen IV—VII sind nur die beobachteten Zuwachse aufgezeichnet, da die umgerechneten in Form

von Curven mitgetheilt sind. Die Temperaturangaben, welche neben der auf 12 Uhr Mittags bezüglichen Zahl stehen, bezeichnen die um 1 Uhr Nachmittags beobachtete.

I.

Zwei Pflanzen von Nicotiana Tabacum; a stand frei, b fortwährend unter Glasglocke; die gemessenen Blätter gehörten den untersten, verkürzten Internodien an.

Datum.	Stunde.	a) frei.					b) unter Glocke.					Bemerkungen.
		Zuwachse				Temp. R.	Zuwachse				Temp. C.	
		Breite.		Länge.			Breite.		Länge.			
		beob.	umg.	beob.	umg.		beob.	umg.	beob.	umg.		
14. Juli.	12					19					23,9	
	3p	0,0	0,75	0,5	0,75	18,5	0,5	0,75	1,5	1,25	24,4	veränderlich.
	6	1,5	1,0	1,0	1,5	17,9	1,0	1,0	1,0	1,25	23,1	einzelne Regen-
	9	0,5	1,0	2,0	1,75	17,2	1,0	1,25	1,5	2,0	21,3	güsse.
	12	1,5	1,37	1,5	1,87	17,2	1,5	1,5	2,5	2,12	21,1	
15. »	3a	1,25	1,25	2,25	2,25		1,5	1,5	1,75	1,75		
	6	1,25	1,37	2,25	2,62	16,0	1,5	1,75	1,75	2,12	20,4	
	9	1,5	1,5	3,0	2,25	18,0	2,0	1,75	2,5	2,75	22,4	veränderlich.
	12	1,5	1,25	1,5	2,0	18,0[1]	1,5	1,25	3,0	2,5	23,3	23,6. [1] 18,6.
	3	1,0	1,25	2,5	2,25	17,2	1,0	1,5	2,0	1,75	22,9	
	6	1,5	1,25	2,0	1,75	18,0	2,0	1,75	1,5	2,0	21,4	einzelne Regen-
	9	1,0	1,25	1,5	2,0	16,5	1,5	1,75	2,5	2,25	20,8	güsse.
	12	1,5	2,12	2,5	2,87	16,5	2,0	2,12	2,0	2,62	20,2	
16. »	3a	2,75	2,75	3,25	3,25		2,25	2,25	3,25	3,25		
	6	2,75	2,12	3,25	3,12	16,0	2,25	2,62	3,25	3,37	19,6	
	9	1,5	1,5	3,0	1,75	16,3	3,0	2,0	3,5	2,25	20,0	Regen.
	12	1,5	1,0	0,5	1,25	16,3	1,0	1,5	1,0	1,5	20,7	
	3	0,5	1,25	2,0	1,75	16,5	2,0	1,5	2,0	2,25	21,3	
	6	2,0		1,5			1,0		2,5		21,2	

II.

Zwei opponirte Blätter von Ferdinanda eminens, wovon eines (*b*) in eine Glasglocke eingeführt war.

Am 18. Juni wurde die Messung um 3 Uhr Morgens wirklich ausgeführt; ebenso am 21.; an diesem Tage aber die um 6 Uhr Morgens unterlassen.

Datum.	Stunde.	a) frei.					b) unter Glocke.					Bemerkungen.
		Zuwachse				Temp. R.	Zuwachse				Temp. C.	
		Breite.		Länge.			Breite.		Länge.			
		beob.	umg.	beob.	umg.		beob.	umg.	beob.	umg.		
17. Juni	12	2,0	1,25	0,5	0,5	17,5[1]	1,0	0,75	0,5	0,5	16,2	17,0. [1]) 17,7.
	3p	0,5	0,5	0,5	0,75	17,7	0,5	1,0	0,5	0,5	17,0	sehr hell, nur ein-
	6	0,5	1,25	1,0	0,5	17,9	1,5	1,25	0,5	1,0	17,0	zelne Wolken.
	9	2,0	1,75	0,0	1,25	17,9	1,0	1,0	1,5	1,0	16,0	
	12	1,5	1,75	2,5	2,0	16,0	1,0	0,5	0,5	0,5	14,7	
18. "	3a	2,0	2,25	1,5	2,0	16,0	0,0	1,25	0,5	1,0	14,7	
	6	2,5	3,0	2,5	1,75	15,5	2,5	2,0	1,5	1,0	14,2	
	9	3,5	2,5	1,0	1,0	16,0	1,5	1,0	0,5	0,5	15,0	
	12	1,5	0,75	1,0	1,0	16,9[2]	0,5	0,5	0,5	0,5	16,0	16,3. [2]) 16,9.
	3	0,0	1,0	1,0	0,75	17,0	0,5	0,75	0,5	0,5	16,0	sehr hell, nur ein-
	6	2,0	1,5	0,5	0,25	16,9	1,0	1,0	0,5	0,75	16,0	zelne Wolken.
	9	1,0	1,25	0,0	0,5	16,0	1,0	0,75	1,0	1,5	14,3	
	12	1,5	2,12	1,0	1,87	15,6	0,5	0,87	2,0	1,62	14,0	
19. "	3a	2,75	2,75	2,75	2,75		1,25	1,25	1,25	1,25		
	6	2,75	2,62	2,75	1,87	15,5	1,25	1,62	1,25	1,12	14,2	
	9	2,5	1,75	1,0	1,0	16,9	2,0	1,25	1,0	1,25	16,0	
	12	1,0	0,75	1,0	0,5	17,2[3]	0,5	1,0	1,5	1,0	17,0	16,8. [3]) 17,2.
	3	0,5	0,25	0,0	0,5	17,2	1,5	0,75	0,5	0,25	17,0	sehr hell, etwas
	6	0,0	0,5	1,0	0,5	17,2	0,0	0,0	0,0	0,0	17,2	mehr Wolken.
	9	1,0	1,25	0,0	0,5	16,0	0,0	1,0	0,0	0,75	15,0	
	12	1,5	1,75	1,0	1,37	16,0	2,0	1,25	1,5	1,5	14,6	
20. "	3a	2,0	2,0	1,75	1,75		0,5	0,5	1,5	1,5		
	6	2,0	1,75	1,75	1,37	15,0	0,5	0,75	1,5	1,25	14,0	
	9	1,5	1,25	1,0	1,0	16,0	1,0		1,0			
	12	1,0	1,0	1,0	0,5	17,0[4]						[4]) 17,6.
	3	1,0	0,75	0,0	0,0	17,2						sehr hell, Wolken.
	6	0,5	0,75	0,0	0,0	17,2						
	9	1,0	0,75	0,0	0,75	16,2						
	12	0,5	1,0	1,5	1,25	16,0						
21. "	3a	1,5	2,25	1,0	1,5	16,0						
	6	3,0	3,0	2,0	2,0							
	9	3,0	1,75	2,0	1,5	17,0						
	12	0,5	0,5	1,0	1,25	17,9[5]						[5]) 17,8.
	3	0,5	1,0	1,5	0,75	17,0						hell, Wolken.
	6	1,5	1,5	0,0	0,25	17,1						
	9	1,5	0,75	0,5	1,25	16,9						
	12	0,0	1,12	2,0	2,0	16,9						
22. "	3a	2,25	2,25	2,0	2,0	16,3						
	6	2,25	1,37	2,0	1,75	17,2						
	9	0,5		1,5								

III.

Zwei aufeinanderfolgende Blätter einer jungen Pflanze von Cucurbita Pepo, welche unter Glasglocke stand.

In den Ablesungsstunden kamen dieselben Unregelmässigkeiten vor, wie in der vorigen Versuchsreihe.

Datum.	Stunde.	Zuwachse des Blattes III.				Zuwachse des Blattes IV.				Temperatur C.	Bemerkungen.
		Breite.		Länge.		Breite.		Länge.			
		beob.	umg.	beob.	umg.	beob.	umg.	beob.	umg.		
17. Juni.	3p	4,5	3,75	3,0	2,75					23,0	sehr hell, nur einzelne Wolken.
	6	3,0	1,75	2,5	1,75					22,5	
	9	0,5	3,0	1,0	1,5					20,8	
	12	5,5	4,0	2,0	1,25					19,9	
18. »	3a	2,5	4,5	0,5	2,25					19,1	
	6	6,5	5,5	4,0	3,5					19,1	
	9	4,5	4,25	3,0	3,0					20,1	
	12	4,0	3,25	3,0	2,0					21,8	21,4.
	3	2,5	2,5	1,0	1,0					21,5	sehr hell, nur einzelne Wolken.
	6	2,5	1,75	1,0	1,0					19,7	
	9	1,0	1,5	1,0	1,0	2,0	2,0	2,5	2,0	19,6	
	12	2,0	2,62	1,0	1,12	2,0	1,75	1,5	1,5	19,0	
19. »	3a	3,25	3,25	1,25	1,25	1,5	1,5	1,5	1,5		
	6	3,25	3,12	1,25	1,62	1,5	2,0	1,5	2,25	19,0	
	9	3,0	2,25	2,0	1,75	2,5	2,5	3,0	2,5	20,7	
	12	1,5	1,25	1,5	1,25	2,5	2,5	2,0	1,5	21,9	22,5.
	3	1,0	1,5	1,0	0,75	2,5	1,75	1,0	0,75	22,0	sehr hell, etwas mehr Wolken.
	6	2,0	1,5	0,5	0,5	1,0	1,25	0,5	1,0	22,0	
	9	1,0	0,5	0,5	0,5	1,5	1,75	1,5	1,5	20,0	
	12	0,0	1,12	0,5	0,87	2,0	2,62	1,5	1,5	19,3	
20. »	3a	2,25	2,25	1,25	1,25	3,25	3,25	1,5	1,5		
	6	2,25	2,12	1,25	1,12	3,25	2,62	1,5	2,25	18,7	
	9	2,0	1,5	1,0	0,75	2,0	2,75	3,0	2,5	20,0	
	12	1,0	1,0	0,5	0,75	3,5	2,75	2,0	1,5	22,0	22,2.
	3	1,0	1,5	1,0	0,75	2,0	2,25	1,0	1,0	22,2	sehr hell, Wolken.
	6	2,0	1,5	0,5	0,75	2,5	2,0	1,0	0,75	22,2	
	9	1,0	1,0	1,0	0,75	1,5	1,75	0,5	0,75	20,2	
	12	1,0	1,25	0,5	0,5	2,0	2,25	1,0	0,75	19,9	
21. »	3a	1,5	1,75	0,5	1,25	2,5	3,12	0,5	1,75	19,7	
	6	2,0	2,0	2,0	2,0	3,75	3,75	3,0	3,0		
	9	2,0	1,25	2,0	1,5	3,75	3,12	3,0	2,75	21,6	
	12	0,5	0,5	1,0	0,5	2,5	2,75	2,5	1,5	21,8	22,8.
	3	0,5	0,75	0,0	0,25	3,0	2,75	0,5	1,0	21,6	hell, Wolken.
	6	1,0	0,75	0,5	0,5	2,5	2,25	1,5	1,0	21,9	
	9	0,5	0,75	0,5	0,25	2,0	1,0	0,5	0,25	20,6	
	12	1,0	1,12	0,0	0,25	0,0	1,0	0,0	0,75	20,2	
22. »	3a	1,25	1,25	0,5	0,5	2,0	2,0	1,5	1,5		
	6	1,25		0,5		2,0	4,25	4,5		20,0	

IV.

Ein Blatt von Cucurbita Pepo, welche fortwährend unter Glasglocke stand. Die umgerechneten Werthe sind in der Curve I. mitgetheilt.

Datum.	Stunde.	Beobachtete Zuwachse. Breite.	Beobachtete Zuwachse. Länge.	Temp. C.	Bemerkungen.
10. Juli.	12	0,5	1,0	24,0	23,8.
	3p	1,5	1,0	23,6	
	6	1,0	0,5	23,9	trub.
	9	1,5	1,5	22,3	
	12	1,5	1,5	20,7	
11. »	3a	2,5	2,0		
	6	2,5	2,0	19,2	
	9	3,5	2,5	21,2	
	12	2,0	1,5	23,5	23,7.
	3	1,5	1,0	23,9	
	6	0,0	0,0	23,9	sehr hell, wolkenlos.
	9	1,5	1,0	22,5	
	12	1,0	1,0	21,1	
12. »	3a	1,0	2,0		
	6	1,0	2,0	20,05	
	9	3,0	2,5	22,5	
	12	1,0	1,0	23,9	24,9.
	3	1,0	1,0	24,9	sehr hell. Nachmittag überzogen.
	6	0,0	0,5	24,4	
	9	0,5	0,0	22,9	
	12	0,0	0,5	22,1	
13. »	3a	1,75	2,25		
	6	1,75	2,25	21,9	
	9	1,5	2,5	23,7	
	12	2,0	1,0	25,3	25,6.
	3	1,0	0,0	25,2	sehr hell, Nachmittag überzogen.
	6	0,0	0,0	24,7	
	9	0,0	0,5	22,5	
	12	0,0	0,5	21,9	
14. »	3a	0,75	0,75		
	6	0,75	0,75	21,8	

V.

Zwei aufeinanderfolgende Blätter von Cucurbita Pepo, von 6 Uhr Abends bis 6 Uhr Morgens unter dem schwarzen Recipienten, sonst unter Glasglocke, die ungerechneten Werthe s. Curve II.

Datum.	Stunde.	Beobachtete Zuwachse. Blatt a. Breite.	Blatt a. Länge.	Blatt b. Breite.	Blatt b. Länge.	Temperatur C.	Bemerkungen.
10. Juli.	3a	2,0	1,75				
	6	2,0	1,75			20,6	
	9	3,0	2,5			22,3	
	12	2,5	2,0			24,6	24,0.
	3	1,0	1,5			24,1	trüb.
	6	0,5	1,5			24,4	
	9	1,5	0,5			21,8	
	12	1,0	1,5			20,2	
11. »	3a	1,25	1,5				
	6	1,25	1,5			19,0	
	9	5,0	4,0			21,5	
	12	2,0	2,0			23,3	23,7.
	3	1,5	2,0			24,2	sehr hell, wolkenlos.
	6	1,5	1,0			23,8	
	9	0,5	0,0			22,2	
	12	0,5	0,5			20,9	
12. »	3a	0,5	0,75				
	6	0,5	0,75			19,8	
	9	2,5	2,0			22,8	
	12	1,0	2,0			24,0	24,9.
	3	0,0	1,5			25,3	sehr hell, Nachmittag überzogen.
	6			2,5	2,5	24,5	
	9			0,0	0,5	22,7	
	12			1,0	1,5	21,8	
13. »	3a			1,0	1,5		
	6			1,0	1,5	21,8	
	9			5,5	4,0	24,0	
	12			2,0	2,5	25,2	25,8.
	3			3,5	3,0	25,5	sehr hell, Nachmittag überzogen.
	6			2,0	2,5	25,2	
	9			0,0	0,0	22,2	
	12			2,0	1,0	21,3	
14. »	3a			1,25	0,75		
	6			1,25	0,75	21,2	
	9			5,0	5,0	23,0	
	12			2,0	2,5	24,0	
	3			1,5	1,0	24,3	
	6			2,0	3,0	23,9	
	9			0,5	0,0	21,0	
	12			1,0	0,0	20,3	
15. »	3a			0,5	0,75		
	6			0,5	0,75	19,8	
	9			3,0	1,5	22,4	

VI.

Blatt einer Pflanze von Cucurbita Pepo, welche vom 10. Juli Abends an von 9 Uhr Abends bis 9 Uhr Morgens unter dem schwarzen Recipienten, sonst unter Glasglocke stand. Die umgerechneten Werthe sind in Curve III. mitgetheilt.

Datum.	Stunde.	Beobachtete Zuwachse. Breite.	Länge.	Temp. C.	Bemerkungen.
10. Juli.	9a	4,0	2,5	22,5	
	12	2,5	3,0	25,2	24,6.
	3	3,0	2,0	24,75	trüb.
	6	2,0	1,0	24,4	
	9	3,5	3,0	21,8	
	12	1,5	1,5	20,0	
11. »	3a	2,25	1,25		
	6	2,25	1,25	18,75	
	9	1,5	2,5	21,25	
	12	5,0	3,5	23,75	24,25.
	3	5,5	4,5	24,25	sehr hell, wolkenlos.
	6	2,0	2,0	23,75	
	9	2,0	1,5	21,0	
	12	0,5	0,5	20,0	
12. »	3a	0,5	0,5		
	6	0,5	0,5	19,1	
	9	1,5	1,0	22,5	
	12	4,0	3,5	24,4	25,5.
	3	2,5	1,0	25,25	sehr hell, Nachmittag überzogen.
	6	3,0	2,5	25,0	
	9	0,5	0,0	23,1	
	12	0,0	1,0	21,25	
13. »	3a	1,25	0,25		
	6	1,25	0,25	21,5	
	9	0,0	0,0	23,75	sehr hell, Nachmittag überzogen.
	12	2,5	2,0	25,25	26,25.
	3	1,5	1,0	25,6	
	6	0,5	1,0	25,0	

VII.

Blatt einer Pflanze von Cucurbita Pepo, welche vom 10. Juli an von 3 Uhr Nachmittags bis 12 Uhr Nachts unter dem schwarzen Recipienten, sonst unter Glasglocke stand, also von 3 Uhr Nachmittags bis 3 Uhr Morgens dunkel hatte. Die umgerechneten Werthe s. Curve IV.

Datum.	Stunde.	Beobachtete Zuwachse.		Temp. C.	Bemerkungen.
		Breite.	Länge.		
10. Juli.	3a	1,0	1,0		
	6	1,0	1,0	20,3	
	9	2,5	2,5	22,1	
	12	3,0	3,0	24,6	24,2.
	3	2,0	2,0	24,4	trüb.
	6	0,5	0,5	23,6	
	9	0,5	0,5	21,2	
	12	1,0	2,0	19,7	
11. »	3a	2,5	2,25		
	6	2,5	2,25	19,2	
	9	3,5	3,5	21,4	
	12	2,5	2,5	23,2	23,7.
	3	2,5	1,5	24,1	sehr hell, wolkenlos.
	6	0,5	0,5	23,1	
	9	0,5	0,5	21,4	
	12	1,0	1,0	20,2	
12. »	3a	2,5	2,25		
	6	2,5	2,25	20,0	
	9	4,5	3,5	22,9	
	12	1,5	2,0	24,3	25,2.
	3	1,5	0,5	25,2	sehr hell, Nachmittag überzogen.
	6	0,5	0,5	23,7	
	9	1,0	2,0	22,4	
	12	1,0	0,5	21,5	
13. »	3a	2,75	2,25		
	6	2,75	2,25	21,9	
	9	3,5	3,0	23,9	
	12	1,5	2,0	25,5	25,8.
	3	1,0	0,0	25,5	sehr hell, Nachmittag überzogen.
	6	0,5	0,0	24,5	
	9	1,0	1,0	22,0	
	12	1,0	2,0	21,0	
14. »	3a	2,25	2,0		
	6	2,25	2,0	21,8	
	9	2,0	2,0	23,4	

VIII.

Blatt einer Pflanze von Cucurbita Pepo, welche im feuchtgehaltenen Doppelfenster stehend vom 10. Juli Abends an von 6 Uhr Abends bis 12 Uhr Mittags mit dem dunkeln Recipienten bedeckt blieb.

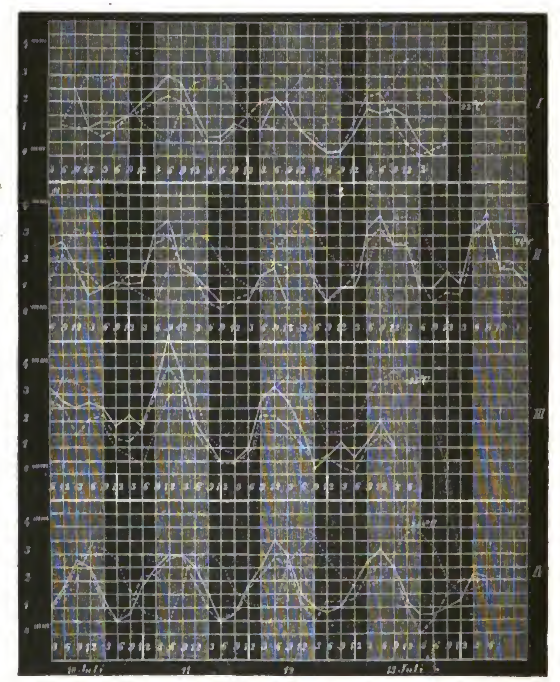
Datum.	Stunde.	Zuwachse.				Temp. R.	Bemerkungen.
		Breite.		Länge.			
		beob.	umg.	beob.	umg.		
10 Juli.	3p	3,0	2,5	2,0	2,0	19,8	
	6	2,0	2,0	2,0	1,5	22,2	
	9	2,0	3,0	1,0	2,0	19,5	
	12	4,0	3,87	3,0	2,75	17,2	
11. "	3a	{3,75	3,75	{2,5	2,5		
	6	}3,75	2,62	}2,5	2,0	16,0	
	9	1,5	1,25	1,5	1,0	18,0	
	12	1,0	2,0	0,5	1,5	19,0	19,0.
	3	3,0	2,0	2,5	1,5	20,0	
	6	1,0	1,25	0,5	1,25	19,5	
	9	1,5	1,5	2,0	1,25	18,0	
	12	1,5	1,62	0,5	1,0	17,5	
12. "	3a	{1,75	1,75	{1,5	1,5		
	6	}1,75	2,12	}1,5	1,5	17,0	
	9	2,5	1,75	1,5	1,25	19,0	
	12	1,0	1,5	1,0	1,25	19,8	19,9.
	3	2,0	1,5	1,5	1,25	19,9	
	6	1,0	0,5	1,0	0,75	19,5	
	9	0,0	1,0	0,5	1,0	18,5	
	12	2,0	1,75	1,5	1,12	18,0	
13. "	3a	{1,5	1,5	{0,75	0,75		
	6	}1,5	1,75	}0,75	1,12	18,0	
	9	2,0	1,25	1,5	0,75	19,5	
	12	0,5	2,25	0,0	1,0	20,5	20,0.
	3	4,0	2,0	2,0	1,25	20,0	
	6	0,0	0,75	0,5	0,75	19,8	
	9	1,5		1,0		18,5	

Betrachtet man zuerst die Tabellen I. bis IV., welche den Verlauf des Wachsthums unter gewöhnlichen Verhältnissen darstellen, sowie die unten folgende nach Tabelle IV. construirte Curve I., so bemerkt man sofort eine deutliche tägliche Periode, welche für Länge und Breite des Blattes denselben Gang verfolgt, und zwar derart, dass die Zuwachse von den Abendstunden an während der Nacht grösser werden, nach Tagesanbruch ihr Maximum erreichen und bis zum Abend wieder sinken. Vergleicht man damit die von Sachs (a. a. O.) gefundene Periodicität der Stengel, z. B. dessen Tabellen 11 und 12, Tafel V. und VI., so gewahrt man eine Aehnlichkeit, wie sie bei der verschiedenen Beobachtungsmethode nicht grösser erwartet werden kann. Obgleich hienach schon mit grösster Wahrscheinlichkeit die Periode des Blattes ebenso wie die des Stengels als eine Function der Beleuchtung gelten

musste, hielt ich es doch nicht für überflüssig, zur Prüfung dieser Ansicht einige weitere Versuche anzustellen. Zunächst lag die Möglichkeit vor, dass das Volumen des Blattes durch die Transspiration bedeutende Aenderungen erleiden könnte, dass also der durch die Messung gefundene Zuwachs nicht der Ausdruck des wirklichen Zuwachses wäre, sondern entweder die Differenz aus dem wirklichen Zuwachs und der etwaigen durch Abnahme der Turgescenz bewirkten Volumenverminderung des Blattes, oder umgekehrt die Summe aus dem wirklichen Zuwachs und der durch Steigerung der Turgescenz bewirkten Volumenzunahme. Ein Vergleich der normalen Blätter mit den unter Glasglocke cultivirten (Tab. I. und II.) belehrt uns aber, dass in beiden Fällen die Zuwachscurve gleich verläuft; wenn nun auch die Transspiration durch die Glasglocken nicht vollständig gehindert werden konnte, so hätte doch durch die blosse Verminderung dieses Factors, wenn er sich überhaupt in fühlbarer Weise geltend machen würde, das Resultat eine Aenderung erleiden müssen; auffallend ist nur, dass bei Ferdinanda eminens das in der Transspiration beeinträchtigte Blatt im Allgemeinen weniger wuchs, als das freie. Den schlagendsten Beweis aber dafür, dass bei möglichst wenig schwankender Temperatur die Periode eine Function der Beleuchtung ist, glaube ich dadurch beigebracht zu haben, dass ich in einer Reihe von Parallelversuchen die Dunkelheit auf verschiedene Tagesstunden verlegte. Während nämlich eine Pflanze den normalen Wechsel von Tag und Nacht genoss, also Anfangs Juli etwa von 9 Uhr Abends bis 3 Uhr Morgens Nacht hatte (Tab. IV, Curve I.), wurden drei andere täglich nur 12 Stunden lang beleuchtet, und zwar eine von 6 Uhr Morgens bis 6 Uhr Abends (Tab. V, Curve II), eine andere von 9 Uhr Morgens bis 9 Uhr Abends (Tab. VI, Curve III), und eine dritte von 3 Uhr Morgens bis 3 Uhr Nachmittags (Tab. VII. Curve IV). Die Curven sind so zusammengestellt, dass in allen Fällen das Maximum auf die gleiche Ordinate fällt und man sieht auf den ersten Blick, dass dasselbe in allen Fällen kurz nach Anfang der Beleuchtung eintritt, mag die Tagesstunde sein, welche sie wolle.

So schlagend dieses Resultat bezüglich des allgemeinen Verlaufs der Curve und der Lage des Maximums ist, so bietet die Lage des Minimums doch einige Schwierigkeiten. Dasselbe ist nämlich ebenfalls verschoben, so dass es etwa 12 Stunden nach dem Maximum zu liegen kommt; diese Erscheinung hätte an und für sich nichts Auffallendes, wenn nicht an der normalen Pflanze das Minimum schon um 3 bis 6 Uhr Nachmittags einträte, offenbar weil die Lichtintensität Abends zu gering ist, um noch eine erhebliche retardirende Wirkung ausüben zu können; nun ist kein Grund abzusehen, warum in den Versuchen mit 12stündigem Tage das Minimum erst nach Eintritt der künstlichen Verdunkelung um 6 und 9 Uhr Abends eintritt; einer besonderen Berücksichtigung scheint mir aber dieses Verhältniss nicht werth zu sein, einmal, da ich selbst in meine Methode nicht dasjenige Vertrauen setze, um für die richtige Bestimmung des Minimums, wobei es

sich um Zuwachse von etwa $1/2$ Millimeter handelt, einstehen zu können; ferner desshalb, weil durch die plötzliche Verdunkelung mittels des Recipienten eine plötzliche Störung des Gleichgewichts in der Pflanze herbeigeführt wird, über deren Tragweite wir uns keine Rechenschaft geben können.



Zuwachscurven des Blattes von Cucurbita Pepo; die ausgezogene Linie bedeutet die Zuwachse der Breite, die unterbrochene die der Länge, die punktirte den Gang der Temperatur. Der Wechsel der Beleuchtung ist durch die Schraffirung angedeutet, so dass der einfach schwarze Grund die Dunkelheit repräsentirt. Die Zahlen unter der Abscissen-Achse sind die Tagesstunden; Mitternacht ist besonders markirt. Die Zuwachse sind auf der Ordinaten-Achse nach halben Millimetern, die Temperaturen nach ganzen Graden Celsius aufgetragen. Curve I. repräsentirt den Gang der Zuwachscurve unter normalen Verhältnissen, II. bei 12stündiger Nacht von 6 bis 6 Uhr, III. bei Verdunkelung von 9 Uhr Abends bis 9 Uhr Morgens, IV. bei Verdunkelung von 3 Uhr Nachmittags bis 3 Uhr Morgens.

Begreiflicherweise konnte während der mehrere Tage dauernden Versuchsreihen die Temperatur unmöglich so constant gehalten werden, als es für unseren Zweck wünschenswerth gewesen wäre, und es sind daher alle Curven in ihrem Verlaufe mehr oder minder von den Temperaturschwankungen mit beeinflusst. Eine augenfällige Temperaturwirkung ist es z. B., wenn in Tab. I die Zuwachse unter Tags nur wenig abnehmen; bei der im Vormittag bedeutend steigenden Temperatur konnte die an jenem Tage ohnehin nur schwache Lichtintensität das Wachsthum nur soweit hindern, dass es durch die Temperatur nicht vermehrt wurde. Das bedeutende Steigen der Zuwachscurve in der Nacht trotz der fallenden Temperatur ist immer noch deutlich genug ausgesprochen. Ebenso macht sich in Tabelle III die Temperaturwirkung theils in einer kleinen Erhebung der Zuwachscurve in den Nachmittagsstunden (z. B. Blatt III. 19. und 20. Juni), theils in einem nur langsamen Sinken während des Vormittags geltend (z. B. Blatt IV. 20. und 21. Juni). Den stärksten Einfluss der Temperatur finden wir in Tab. VIII. In derselben sind die Zuwachse verzeichnet, welche sich ergaben, als eine Pflanze 18 Stunden Dunkelheit erhielt und nur von 12 Uhr Mittags bis 6 Uhr Abends beleuchtet wurde. Am 10. Juli Abends bei Beginn der Dunkelheit steigt die Curve, fällt aber von 3 Uhr Morgens an der Temperatur folgend, um 9 Uhr Morgens wieder mit ihr zu steigen; der Eintritt der Beleuchtung um 12 Uhr Mittags jedoch verhindert ein weiteres Grösserwerden der Zuwachse und bewirkt sogar eine deutliche Abnahme derselben. In der Dunkelheit beginnt sich die Curve wieder zu heben, fällt von 6 Uhr Morgens an schwach (Temperatur), von 12 Uhr an (Beleuchtung) stärker, steigt während der Dunkelheit wieder und fällt endlich mit Eintritt der Beleuchtung wieder herab; von da an entzieht sie sich wegen der zu klein gewordenen Zuwachse der weiteren Verfolgung.

Nebenbei sei noch bemerkt, dass auch die grosse Periode durch vorstehende Versuche für die Blätter nachgewiesen wurde; sehr schön tritt sie z. B. in Curve III hervor; für uns hat sie nur insoweit Interesse, als zur Zeit des Maximums einerseits die grossen Zuwachse die Beobachtung erleichterten, andererseits erwartet werden konnte und sich auch später bestätigte, dass in der Zeit des Maximums die täglichen Schwankungen deutlicher hervortreten (vgl. Sachs a. a. O. p. 186). Dass es an unregelmässigen Stössen nicht fehlt, zeigen die mitgetheilten Zahlen.

Obgleich meine Versuche nur mit drei verschiedenen Pflanzen durchgeführt wurden, scheint mir das gewonnene Resultat doch von allgemeiner Giltigkeit zu sein, da gerade die Blätter der von mir verwendeten Pflanzen beim Wachsthum in constanter Finsterniss nur eine sehr geringe Grösse erreichen und sich die ursprüngliche Fragestellung gerade hierauf bezog. Zudem boten auch die Formverhältnisse der betreffenden Pflanzen einige Unterschiede, indem zwei derselben (*Cucurbita* und *Ferdinanda*) deutlich

und ziemlich lang gestielte Blätter besitzen, die Blätter von *Nicotiana Tabacum* aber sitzende sind.

Nachdem durch vorstehend mitgetheilte Versuche constatirt ist, dass das Licht auf das Wachsthum der grünen Blätter ebenso retardirend einwirkt, wie auf die Internodien, drängt sich die Frage auf, warum dieselben Blätter bei constanter Finsterniss weit hinter ihrer normalen Grösse zurückbleiben, während die Internodien dieselbe weit übertreffen. Diese Frage wurde in jüngster Zeit durch Batalin [1]) dahin beantwortet, dass die etiolirten Blätter desswegen klein bleiben, weil ihre Zellen ohne Mitwirkung des Lichtes sich nicht theilen können. Obwohl nun von vornherein nicht klar ist, inwiefern die Theilung der Zellen die Ursache des Wachsthums sein sollte, machte ich dennoch einen Versuch die Zellenzahl in etiolirten Blättern zu constatiren. Ich verglich dieselbe aber nicht nur wie Batalin, mit der Zellenzahl eines normalen, grünen Blattes, sondern auch mit der eines unentwickelten, im ruhenden Samen enthaltenen Blattes, und erhielt an den Primordialblättern von Phaseolus vulgaris folgende Resultate:

	Im ruhenden Samen	an etiolirten Pflanzen		an normalen Pflanzen	
Grösste Breite des Blattes . . .	2,400 mill.	11,000	18,000	10,000	25,000
Mittlere Breite einer Zelle an derselben Stelle	0,007	0,008	0,007	0,007	0,011
Quotient, d. h. durchschn. Zellenzahl	343	1375	2571	1429	2273

Die Messungen wurden an den Zellen des Pallisadenparenchyms vorgenommen und zwar derart, dass an 10 verschiedenen Stellen der in unmittelbarer Nähe des grössten Breitendurchmessers gemachten Querschnitte die Anzahl der auf die Länge der Theilung meines Ocularmikrometers treffenden Zellen bestimmt wurde; es ist somit die für eine Zelle angegebene Grösse eine Durchschnittszahl aus mindestens 100 Zellen. Zudem wurden in den Primordialblättern des ruhenden Embryos stellenweise die Zellen doppelt so gross gefunden. Diese Zahlen zeigen also unwiderleglich, dass bei Entwickelung des Blattes in dauernder Finsterniss eine grosse Anzahl von Zelltheilungen stattfindet.

Die Verschiedenheit im Wachsthum der Blätter am Licht und im Dunkeln darf also nicht auf die Zellenzahl zurückgeführt werden, sondern hat ihren Grund offenbar in einem krankhaften Zustande der etiolirten Blätter, wahrscheinlich in Folge des Mangels gewisser Stoffe, zu deren Erzeugung die Mitwirkung des Lichtes nothwendig ist. Welcher Art diese Wirkung des Lichtes ist, werde ich weiter untersuchen.

[1]) Ueber die Wirkung des Lichtes auf die Entwickelung der Blätter. Bot. Zeit. 1871 p. 669 ff.

XIII.

Ueber das Wachsthum der Haupt- und Nebenwurzeln.

Von

J. Sachs.

Beobachtungsmethoden.

§. 1. Die Mehrzahl der hier zu beschreibenden Beobachtungen wurde an einer sehr grosssamigen Varietät von Vicia Faba gemacht: ein lufttrockener Same wog im Durchschnitt 2,9 Grammen; mit Wasser völlig durchtränkt nahezu 6 Grammen. Ich wählte diese Pflanze besonders deshalb, weil ihre Hauptwurzel eine beträchtliche Dicke (1,5—2,5 Mill.) besitzt und weil die grossen Cotyledonen dem sich bildenden Wurzelsystem eine reichliche Quantität von Nahrungsstoffen darbieten. Zur Vergleichung wurden jedoch auch zahlreiche Versuche mit Keimpflanzen von Pisum sativum, Phaseolus multiflorus, Cucurbita Pepo, Quercus Robur, Polygonum Fagopyrum, Lepidium sativum, Zea Mais und Triticum vulgare gemacht. Zur Entscheidung einzelner Fragen waren mir die sehr dicken und rasch wachsenden Keimwurzeln von Aesculus Hippocastanum von besonderem Werth; doch konnte ich sie erst im Herbst und leider in nicht ganz genügender Zahl verwenden.

Bei der grossen Empfindlichkeit der Wurzeln für die verschiedensten, oft unmerklichen äusseren Einflüsse, bei ihren individuellen Verschiedenheiten und der daraus hervorgehenden Ungleichartigkeit der Versuchsresultate, auf die ich noch mehrfach zurückkomme, ist es nöthig, die Wachsthumserscheinungen derselben an sehr zahlreichen Exemplaren zu beobachten, um das Allgemeingiltige von dem Zufälligen unterscheiden zu können. Dass ich es in dieser Hinsicht an Geduld und Ausdauer nicht habe fehlen lassen, mag man daraus entnehmen, dass im Lauf der Untersuchung nicht weniger als 10 Kilo Samen von Faba, also über 3000 Stück, und etwa 2 Kilo Erbsen durch meine Hände gegangen sind.

§. 2. Die Vorbereitung der Samen zur Beobachtung in den unten zu beschreibenden Apparaten wurde dadurch eingeleitet, dass sie zunächst 24 bis 30 Stunden lang in Brunnenwasser liegen blieben, welches während dieser Zeit 2—3 Mal erneuert wurde; die damit verbundene Waschung hat den Zweck, Fäulniss und Bacterienbildung in der die Samen umgebenden Flüssigkeit zu beseitigen, da diese immer organische Stoffe aus jenen aufnimmt. Ein längeres Liegen unter Wasser ist unnöthig, da auch die grössten Fabasamen in 24—30 Stunden bei 18—20° C. mit Wasser völlig durchtränkt und zum Austreiben der Wurzel selbst in feuchter Luft befähigt sind; es ist sogar schädlich, weil die zum Wachsen der Wurzel nöthige Athmung der Cotyledonen unter Wasser beeinträchtigt ist, wie Versuche (s. unten) zeigen. — Noch vor dem Hervortreten der Hauptwurzel wurden die Samen in feuchte Sägspäne gelegt, die vorher jedesmal zwischen den flachen Händen gerieben und zu einem möglichst lockeren Keimlager in grösseren Holzkästen zubereitet waren; diese Vorsicht ist nöthig, um einerseits in dem lockeren Medium recht grade gewachsene Wurzeln zu bekommen und anderseits durch die genannte Zubereitung der Sägspäne eine genügende Durchlüftung derselben zu erzielen und Schimmelbildung nicht aufkommen zu lassen.

Die grossen Samen, wie die von Faba, Phaseolus, Quercus, Cucurbita, Aesculus, wurden immer einzeln ausgelegt; die von Faba so mit der Mikropyle abwärts, dass die austretende Hauptwurzel keine Krümmung zu machen brauchte, um senkrecht hinabzuwachsen; die anderen legte man horizontal, so dass die Wurzel nach ihrem Austritt einen rechten Winkel mit der Längsaxe des Samens machte. Kleine Samen wurden einfach ausgestreut und dann gleich jenen bedeckt.

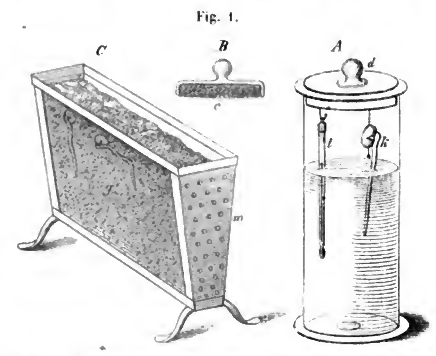
Durch immer wiederholte neue Aussaaten sorgte ich dafür, dass täglich zahlreiche Keimpflanzen in verschiedener Entwickelung vorhanden waren, um jeden neu ausgedachten Versuch sofort in Scene setzen zu können.

Bei dem Herausnehmen aus den Sägspänen wurden die Keimpflanzen sofort in reines Brunnenwasser gelegt und sorgfältig gewaschen. Die gereinigten Keime dürfen jedoch nicht lange, höchstens einige Stunden im Wasser liegen bleiben, da sonst die Wurzelspitzen sehr leicht erkranken. Ueberhaupt wurde die äusserste Sorgfalt darauf verwendet, dass nur ganz gesunde und kräftig wachsende Keime den Versuchen dienten. Besonders ist hervorzuheben, dass Wurzeln, deren Haube zu einer gummiähnlichen oder gelatinösen Masse aufquillt, bald zu wachsen aufhören und erkranken.

§. 3. Als Recipienten, in denen die Entwickelung der Keimwurzeln weiter fortschreiten und der Beobachtung leicht zugänglich sein sollte, habe ich, abgesehen von manchen für bestimmte Zwecke nöthigen Einrichtungen, die ich unten beschreiben werde, folgende verwendet:

Um die Wurzeln in feuchter Luft, oder in Wasser wachsen zu lassen, benutze ich sogenannte Präparatencylinder von Glas, mit 3—4 Liter Raum. Die einen sind hoch und enger, wie Fig. 1 *A*, von circa 31 Cm.

Fig. 1.



Höhe und 12 Cm. Durchmesser, die anderen niedrig und weiter, nämlich circa 20 Cm. hoch und 16 Cm. im Durchmesser. — Diese Cylinder sind mit Glasdeckeln versehen, deren abwärts gebogener Rand (vgl. *B*) in die Cylindermündung eingeschliffen ist und einen Hohlraum umschliesst, der mit einer Korkscheibe (*Bc*) von 2—3 Cm. Dicke ausgefüllt wird. So lange die Cylinder in Gebrauch sind, werden die Korkscheiben mit Wasser durchtränkt erhalten; entsteht etwa Schimmel an ihnen, so hält man den Deckel über eine Gasflamme, bis der durchtränkte Kork überall bis fast zur Siedhitze erwärmt ist. An dieser Korkscheibe werden nun die Keimpflanzen mittels langer, reiner, nicht rostender Stecknadeln befestigt (*A k*). Für manche Versuche braucht man Nadeln von 10—12 Cm. Länge, die ich aus platirtem Draht anfertigen lasse. — Sollen die Wurzeln in Wasser wachsen, so werden etwa $^2/_3$ des Raumes damit gefüllt, so dass noch 1 Liter Luft vorhanden ist; die Samen müssen, wenn die Wurzeln gesund bleiben sollen, so angesteckt werden, dass die Cotyledonen sich über dem Wasser in Luft befinden. — Kommt es darauf an, die Wurzeln in feuchter Luft wachsen zu lassen, so wird nur der Boden des Cylinders mit Wasser bedeckt und die Wände befeuchtet.

Die Temperatur wird an kleinen in $^1/_{10}{}^0$ C. getheilten Thermometern, die innerhalb der Cylinder aufgehängt sind (Fig. 1 *A t*), beobachtet.

Da das Brunnenwasser gewöhnlich eine andere Temperatur hat, als der Beobachtungsraum, und da es bei den folgenden Versuchen überall darauf ankommt, die Keime bei möglichst constanter Temperatur zu beobachten, so ist es nöthig, das Wasser einen Tag vor dem Gebrauch des

Cylinders in diesen einzufüllen und ihn im Beobachtungsraum stehen zu lassen, so dass bei Beginn des Versuchs die Temperatur des Wassers mit der Umgebung sich genügend ausgeglichen hat.

Um eine sehr fühlbare von den bisherigen Beobachtern gelassene Lücke auszufüllen, nämlich die Entwickelung der Wurzeln in ihrem eigentlichen Element der Erde, direct zu beobachten, verwende ich Kästen, von verschiedener Form und Grösse, die darin übereinstimmen, dass sie Seitenwände von Glas oder dünnen Glimmerplatten besitzen, welche nicht senkrecht, sondern um etwa 10° gegen den Horizont geneigt sind, wie z. B. aus Fig. 1 *C* ersichtlich wird. Das Gestell des Kastens, in welches die durchsichtigen Platten leicht eingelassen werden können, besteht aus starkem Zinkblech, ebenso ein Deckel, der mit übergreifendem Rande die obere Oeffnung schliesst; der Boden des Kastens, seine metallenen Seitenwände sowie der Deckel, sind mit zahlreichen kleinen Löchern versehen, um den Luftwechsel in der einzufüllenden Erde zu begünstigen. Je nach Bedürfniss sind die Kästen wie Fig. 1 *C* niedriger, die Glaswände 18 Cm. hoch, 28 Cm. breit, oder hoch und schmal, die Glaswände 38 Cm. hoch und 18 Cm. breit. Ausserdem kann man auch Kästen von quadratischem Querschnitt mit vier geneigten Glasscheiben brauchen. — Die Kästen mit Glasscheiben sind vorwiegend zur Beobachtung des Wachsthums der Nebenwurzeln geeignet und müssen deshalb eine beträchtliche Grösse haben. Um die Abwärtskrümmung der Hauptwurzeln in Erde zu sehen, genügen viel kleinere Kästen, bei denen die durchsichtigen Wände aus Glimmerplatten bestehen; diese sind auch bei 0,2 Mill. Dicke noch fest und steif genug, um in Scheiben von 13—14 Cm. im Quadrat verwendet zu werden. Die geringe Dicke ist aber wünschenswerth, wenn es darauf ankommt, die Form um die Partialzuwachse sich krümmender Wurzeln zu bestimmen, da hierbei der Maassstab sowohl, wie die auf sehr dünne Glimmerplatten eingeritzten Kreissysteme an der Aussenseite der durchsichtigen Wand angelegt werden.

Die in diese Kästen einzufüllende Erde ist die leichte, schwarze, sehr humose Gartenerde, wie sie für Gewächshauspflanzen verwendet wird. Sie wird vor dem Gebrauch so angefeuchtet, dass sie sich eben noch zwischen den Händen zu einer feinkrümligen Masse zerreiben lässt, dann durch ein Sieb geworfen, dessen Oeffnungen 1,5 Mill. im Quadrat messen, und dann eingefüllt. In diesem Zustand enthält die Erde Wasser genug, um bei einer Versuchsdauer von einigen Tagen ein sehr rasches und kräftiges Wachsthum der Wurzeln zu gestatten; sie während dieser Zeit zu begiessen ist überflüssig und würde in vielen Fällen die Beobachtung nur stören. Wenn man nicht etwa ausdrücklich andere Bedingungen wünscht, ist die gesiebte Erde nur einzurütteln, nicht aber fest zu drücken. Vor Beginn jedes neuen Versuches wurde die Erde ausgeleert, die Glas- oder Glimmerplatten gewaschen und die neu befeuchtete und abermals gesiebte

Erde wieder eingefüllt. — In manchen Fällen ersetzte ich die Erde durch reinen Kiessand.

In die nicht ganz gefüllten Kästen wurden nun die keimenden Samen so gesteckt oder gelegt, dass gleich anfangs die Hauptwurzel der durchsichtigen Wand dicht anliegt; es erfordert Aufmerksamkeit, die zum Zudecken dienende Erde so aufzulegen, dass dabei die Wurzel nicht unsichtbar wird. Da die letztere immer senkrecht abwärts zu wachsen sucht, so legt sie sich an die geneigte Wand immer fester an und bleibt sichtbar. Dabei ist allerdings die Wurzel auf dieser Seite von der Erde entblösst, allein die Versuche zeigen, dass auch unter diesen Verhältnissen die Eigenthümlichkeiten des Wachsthums in Erde deutlich hervortreten.

Bezüglich der Beobachtung der Nebenwurzeln in diesen Kästen ist der betreffende letzte Abschnitt zu vergleichen.

§. 4. Ich werde im Folgenden wiederholt auf das Verhalten von Keimpflanzen hinweisen, die in einem, um horizontale Axe langsam rotirenden Recipienten wachsen. Da ich beabsichtige, das Verhalten wachsender Pflanzentheile, welche auf diese Weise der Wirkung der Gravitation und der Centrifugalkraft entzogen wird, zum Gegenstand weiterer Untersuchungen zu machen, so will ich hier nur das zum Verständnisse gelegentlicher Hinweise Nöthige kurz erwähnen.[1])

Werden Keimpflanzen in einem mit feuchter Luft gefüllten Recipienten befestigt, der sich um seine horizontale Axe continuirlich und gleichförmig, aber so langsam dreht, dass keine Centrifugalwirkung zu Stande kommt, (eine Umdrehung in 10—20 Minuten) so kann die Gravitation keine Krümmung weder an der Wurzel, noch am Stengel, noch an Blattstielen bewirken, weil nach und nach jede Seite des Organs während gleicher Zeiten oben und unten liegt, gleichgiltig, welchen Winkel die Wachsthumsaxe des Organs mit der Rotationsaxe des Recipienten bildet. Ist nun das Organ allseitig gleichwachsend, d. h. ist sein Längenwachsthum aus inneren Ursachen gleichmässig um die Wachsthumsaxe vertheilt, so muss es in jeder Richtung grade fortwachsen, in welcher man es im Recipienten befestigt hat, sei es quer oder schief zur Rotationsaxe oder auch parallel derselben. Ist dagegen das Wachsthum aus inneren Gründen auf der einen Seite der Wachsthumsaxe eines Organs kräftiger als auf der anderen, so muss es sich krümmen und die Richtung der Krümmung sowohl, wie die Lage der Krümmungsebene ist allein von den inneren Ursachen (den Symmetrieverhältnissen der Pflanze) abhängig, da die Wirkung der Schwere und der Centrifugalkraft durch eine langsame Rotation ausgeschlossen ist, die des Lichts aber durch Verfinsterung leicht ausgeschlossen werden kann.

---

[1]) Eine erste Notiz darüber habe ich in der physik. medic. Gesellsch. in Würzburg 16. März 1872 gegeben.

Treten demnach bei, im Finstern langsam rotirenden Pflanzen Krümmungen an Wurzeln, Stengeln, Blättern auf, oder sprossen die seitlichen Organe unter bestimmten Winkeln aus den Mutterorganen hervor, so weiss man, dass diess von äusseren Ursachen unabhängig geschieht. Man hat also an der langsamen Rotation ein bequemes Mittel, zu entscheiden, ob gewisse Richtungsverhältnisse und Krümmungen der wachsenden oder neu entstehenden Organe von äusseren oder von inneren Ursachen bewirkt werden. Diese Bemerkungen mögen hier vorläufig genügen.

§. 5. Um den Einfluss des Lichts auszuschliessen und die Temperaturschwankungen zu mässigen, wurden die Glascylinder und Erdkästen in einen geräumigen, innen schwarz angestrichenen Holzschrank mit 3 Etagen gestellt. Er steht in einem grossen Saale, dessen Temperatur auch im zeitigen Frühjahr und Spätherbst durch Heizung so regulirt wird, dass die Schwankungen nur wenige Grade (C) betragen; innerhalb des Schrankes jedoch schwanken die Thermometer nur um 1° C., zuweilen nur um 0,5° C. in 24 Stunden, wenn die Thüren täglich nur 2—3mal geöffnet werden. — Die Beobachtungen wurden meist zwischen 18 und 21° C. gemacht; diese Temperatur ist immer vorauszusetzen, wenn nicht ausdrücklich andere Zahlen genannt sind. Wo ich bei den Versuchen Mitteltemperaturen angebe, sind dieselben aus wenigstens 3 täglichen Beobachtungen (Morgens, Mittags und Abends) gewonnen. Wenn es bei vergleichenden Versuchen darauf ankam, die Temperatur mit in Betracht zu ziehen, da wurde besondere Sorgfalt darauf verwendet, die Schwankungen auf ein Minimum herabzudrücken und in den verschiedenen Apparaten nahezu gleiche Temperatur zu bekommen. Die Keimpflanzen in kleinen Apparaten künstlich zu heizen, ist mit manchen Uebelständen verbunden und bei der grossen Zahl der von mir gleichzeitig beobachteten Keimpflanzen, kaum ausführbar.

§. 6. Um die Vertheilung des Wachsthums an der Wurzel kennen zu lernen und dieselbe mit anderen Erscheinungen, eintretenden Krümmungen, Knotenbildungen dergl. zu vergleichen, ist es nöthig, Marken anzubringen, wozu Duhamel feine Silberdrahtstücke, Ohlert und die neueren Beobachter farbige Striche oder Punkte brauchten. Ich bediene mich zu diesem Zweck des besten, echt chinesischen schwarzen Tusches, der auf einer Porcellanplatte mit Wasser aufgerieben und dann mittels eines ziemlich steifen, sehr spitzen Pinsels in Form möglichst schwacher, aber tief schwarzer Querstriche auf die Wurzel aufgetragen wird. Der Tusch enthält nichts der Wurzel Schädliches, der ungemein fein zertheilte Russ aber haftet so fest, dass selbst mehrtägiger Aufenthalt der markirten Wurzeln in Wasser ihn nicht abspült. Vor dem Auftragen der Striche muss man die Wurzel abtrocknen, was am besten mit einem Stück dünner, weicher

Leinwand geschieht, die man um jene herumlegt und mit leichtem Druck nach der Spitze hingleiten lässt. Nachdem die Marken aufgetragen sind, lasse ich die Keimpflanzen 1—2 Minuten in feuchter Luft liegen, um dem Tusch zu festem Adhäriren Zeit zu lassen, wenn die Wurzel in Wasser oder Erde weiter wachsen soll.

Die Lage und Entfernung der Marken richtet sich nach der Absicht der Versuche und wird, wo es nöthig ist, näher bezeichnet werden; auch auf die Verbreiterung der Striche durch das Wachsthum komme ich zurück.

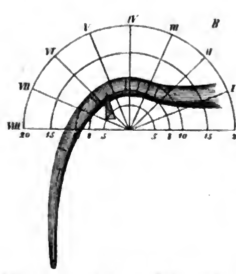
Um der Keimpflanze eine feste Lage zu geben und die Anfertigung der Marken mit grösserer Ruhe und Genauigkeit vornehmen zu können, benutze ich eine grosse, glatte Korkplatte von etwa 2 Cm. Dicke, an deren linkem Rande mittels einer runden Feile verschiedene grosse Kerben eingefeilt sind; von jeder derselben gehen auf der Oberfläche des Korkes einige mit dünner runder Feile gemachte Rinnen nach verschiedenen Richtungen aus. Man probirt nun, in welche Kerbe der Same sich mit einiger Reibung so einschieben lässt, dass er festhält und seine Wurzel zugleich in eine der Rinnen zu liegen kommt. Neben diese legt man eine Millimetertheilung auf Holz oder Papier so, dass man die mit dem Pinsel aufzutragenden Querstriche als Verlängerungen der Theilstriche des Maassstabes ziehen kann.

§. 7. Die Messung der gewachsenen markirten Wurzeltheile wurde, wenn es sich um Wachsthum ohne Krümmung handelte, einfach durch Anlegung des Maassstabes ausgeführt, wobei die Keimpflanze, wenn sie nicht in Erde lag, ebenso, wie bei der Markirung festgelegt wurde. In beiden Fällen kann der Fehler 0,1 Millim. betragen; ich habe mich überzeugt, dass ich keine grösseren Fehler mache und bei der Natur der durch Messungen hier zu gewinnenden Resultate genügt diese Genauigkeit.

Zur Messung der Krümmungsradien und Bogenlängen gekrümmter Wurzeln benutze ich dünne Glimmerplatten, auf denen Systeme concentrischer Kreise von bekanntem Radius mit der Cirkelspitze eingeritzt sind. Die Viertelskreise theile ich jedoch nicht in 90°, sondern durch leichter und genauer auszuführende fortgesetzte Halbirung in 8, 16, 32 Theile; man berechnet für jeden Radius die Länge eines solchen Bogenstückes und benutzt die so entworfene Tabelle zur Berechnung der Bogenlängen an den gekrümmten Wurzeln. Befindet sich eine solche in Erde hinter einer Glimmerplatte, so lege ich das mit der Kreistheilung versehene Glimmerplättchen auf diese und probire, welcher Kreis mit der Krümmung oder einem Theil der Krümmung der convexen Seite oder nach Umständen der concaven Seite der Wurzel zusammenfällt; durch bereitgehaltene gummirte Papierstreifen wird die getheilte Platte auf der Glimmerwand des Kastens befestigt und nun die weitere Beobachtung vorgenommen. Fig. 2 zeigt die

hinter der Glimmerwand liegende gekrümmte Wurzel (schattirt) in verschiedenen Entwickelungszuständen; die concentrischen Halbkreise dagegen bringen einen Theil des auf dem getheilten Plättchen verzeichneten Kreissystems zur Anschauung; die Zahlen 5, 8, 10 . . bedeuten die Längen der Radien in Millimetern.

Fig. 2.



Wurzel von Faba in Erde hinter einer Glimmerwand liegend, in verschiedenen Stadien der geotropischen Krümmung; die Kreise sind auf einem Glimmerplättchen eingeritzt, welches auf der Aussenseite der Glimmerwand befestigt ist.

Der zuerst entstandene Theil der Krümmung an der Wurzel, ist wie dieses Verfahren zeigt, ein Kreisbogen oder doch von einem solchen nicht zu unterscheiden; indem die Spitze aber nach eingetretener Krümmung weiter wächst, wird der Krümmungsradius des sich verlängernden Theils immer grösser. Ich komme auf dieses Verhalten unten zurück, und erwähne es hier nur, um darauf hinzuweisen, dass die Messung der Bogenlängen der concaven und convexen Seite nur für den zuerst gekrümmten Theil der Wurzel nach diesem Verfahren mit hinreichender Genauigkeit möglich ist, und dass der annähernd parabelähnliche Verlauf der weiter wachsenden Wurzel andere Messungsmethoden erfordern würde, wenn darauf bezügliche Fragen zu entscheiden wären. Zur Bestimmung der Krümmungsradien und Bogenlängen der einzelnen markirten Stücke genügt es jedoch, für jedes derselben denjenigen Kreis aufzusuchen, der am genauesten damit zusammenfällt.

§. 8. Um ein klares Bild von dem Verhalten der wachsenden Wurzelspitze zu ihrer Umgebung zu gewinnen, ist es nöthig, die durch das Wachsen bewirkten Ortveränderungen der auf der Wurzel aufgetragenen Marken mit einem festen, unveränderlichen Index zu vergleichen. Bei in Luft oder Wasser wachsenden Wurzeln kann man dazu die zur Befestigung des Keims dienende Nadel benutzen (Fig. 7.); liegt die Keimpflanze in Erde hinter einer durchsichtigen Wand, so bediene ich mich kleiner, spitz dreieckiger Stückchen gummirten Papiers, die ich aussen auf der Wand so aufklebe, dass die Spitze des Index mit einer bestimmten Marke der Wurzel zusammenfällt; so war z. B. die Lage des ersten Theilstrichs der Wurzel in Fig. 2 anfangs, als dieselbe horizontal gelegt wurde, durch die Spitze des kleinen auf der Fig. sichtbaren Papierdreieckes bezeichnet und man sieht wie in Folge des Wachsens bereits zwei Theilstriche der Wurzel an dem Index vorbeigewandert sind.

Biegsamkeit und Elasticität der Wurzeln.

§. 9. Wenn eine grade oder gekrümmt wachsende Wurzel mit ihrer Spitze auf einen ihr widerstehenden Körper trifft, so biegt sie sich. Zur Beurtheilung der dabei eintretenden Erscheinungen, die weiter unten näher betrachtet werden sollen, ist es nöthig, im Voraus zu wissen, wie sich dabei die verschieden alten Regionen der Wurzel verhalten und ob die Biegungen mehr oder minder vollkommen wieder ausgeglichen werden; eine allgemeinere Untersuchung der Elasticitätsverhältnisse lag dagegen ganz ausserhalb der hier verfolgten Untersuchung. Das was ich zu wissen wünschte, liess sich in folgender Art feststellen.

Auf eine grosse glatte Korkplatte wurde ein steifer Carton gelegt und auf diesen eine Keimpflanze von Faba oder Pisum, die mittels zweier Nadeln so festgesteckt wurde, dass die 3—16 Cm. lange Wurzel frei horizontal über dem Carton schwebte, ohne diesen zu berühren, aber nur 1—2 Mill. von ihm entfernt. — Mit der Spitze einer aufrecht gehaltenen Nadel, welche die Wurzel hinter ihrem Vegetationspunkt berührte, wurde nun die Wurzelspitze seitwärts geschoben, bis eine mehr oder minder beträchtliche Biegung erreicht war, dann wurde die Nadel festgesteckt und die Wurzel auf diese Weise während längerer oder kürzerer Zeit in der gebogenen Lage festgehalten. Mit einem fein zugespitzten Bleistift wurde nun die Form der gebogenen Wurzel, indem ich dieselbe umfuhr, auf dem Carton verzeichnet, nachdem schon vor der Biegung die ursprüngliche Ruhelage ebenso bezeichnet worden war. Zieht man nun die Nadel heraus, so schnellt die Wurzel elastisch zurück, jedoch ohne ihre ursprüngliche Lage zu erreichen und ohne grade zu werden. In Fig. 3 zeigt *a* eine grade Wurzel in ihrer natürlichen Lage, *b* die ihr aufgenöthigte Krümmung, *c* die Lage, in welche sie zurückgeht, wenn der seitliche Druck aufhört. — Auf diese Weise wurden die Formen einer Anzahl Wurzeln verzeichnet: die Betrachtung der Linien zeigte Folgendes:

Fig. 3.

1) Die Krümmung der Wurzel in der Lage *b* ist nicht ein Kreisbogen, vielmehr giebt es eine Stelle, wo die Krümmung ein Maximum, der Krümmungsradius ein Minimum erreicht. Von dieser stärkst gebogenen Stelle (Fig. 3 *k*) aus nimmt die Krümmung nach vorn und hinten stetig ab, indem die entsprechenden Krümmungsradien wachsen. — Der Ort der stärksten Krümmung liegt immer weit hinter der Spitze, und zwar immer in einer Region

der Wurzel, welche schon vollständig angewachsen ist, ja bereits vor längerer Zeit aufgehört hat zu wachsen; während die wachsende Region von der Spitze aus bei Faba ungefähr 1 Cm. weit (s. unten) zurückreicht, liegt dagegen die biegsamste Stelle einer 6—8 Cm. langen Wurzel 2—3, selbst 3—4 Cm. weit zurück. Zeichnet man auf einem Pauspapier die Form der Wurzel in der Lage *b* und legt man das Bild auf die Form in der Lage *a*, so bemerkt man, dass die vordere, in raschem Wachsen begriffene Region sich bei diesem Verfahren nicht merklich gekrümmt, ihre Form beibehalten hat. Das wachsende Ende ist also für eine Kraft, welche die ausgewachsene Region stark krümmt, starr, biegungsunfähig. — Da nun die Wurzel die Form eines sehr schlanken Kegels besitzt, so leuchtet ein, dass die biegsamste Stelle dicker ist, als die jüngere und dünner, als die ältere Region der Wurzel; der Einfluss der Dicke auf die Biegsamkeit wird also offenbar von anderen Eigenschaften überwogen, die sich während der Entwickelung der Gewebe verändern. Es wäre Aufgabe einer besonderen Untersuchung, aus der histologischen Vergleichung der verschieden alten Querzonen der Wurzel die Ursachen ihrer verschiedenen Biegsamkeit nachzuweisen; da übrigens ähnliche Erscheinungen auch bei wachsenden Stengeln auftreten, so wäre die Untersuchung gleichzeitig auf diese auszudehnen. Für meinen hier verfolgten Zweck war es jedoch unnöthig, auf diese Frage einzugehen, da mir die Kenntniss der Thatsache als solcher genügt.

2) Die Elasticität der Wurzel ist sehr unvollkommen, denn wenn die ihr aufgenöthigte Biegung auch nur sehr kurze Zeit (selbst nur einige Secunden) gedauert hat und wenn die Biegung auch nur gering war, so schnellt sie doch nicht wieder in ihre ursprüngliche Lage zurück; es finden also bei der Biegung innere z. Th. bleibende Veränderungen statt, die sehr rasch, wie es scheint im Augenblick der Biegung selbst und zwar vorwiegend in der jüngeren, aber vollkommen ausgewachsenen Region eintreten. — Da die Wurzeln in Luft sehr bald welken und erschlaffen, lag die Vermuthung nahe, die beträchtliche bleibende Formänderung der in Luft gebogenen Wurzel könne vielleicht ein Zeichen mangelhafter Turgescenz der Zellen sein, obgleich die Kürze der Beobachtungszeit eine bedeutende Erschlaffung kaum annehmen liess; allein die bleibende Formänderung nach einmaliger Biegung war ebenso beträchtlich wenn der Versuch unter Wasser gemacht wurde. Zu diesem Zweck wurden die völlig turgescenten Keimpflanzen auf glatten Holzbrettchen befestigt und mit diesen unter Wasser gesenkt, worauf die obenbeschriebenen Manipulationen vorgenommen und die Lagen der Wurzel unter Wasser auf dem Holz verzeichnet wurden. Der Erfolg war derselbe wie vorhin und die Wurzeln kehrten selbst nach 3 Stunden unter Wasser nicht wieder in ihre ursprüngliche Form und Lage zurück.

Einige Beispiele mögen das Gesagte verdeutlichen, wobei *b* die Lage der aufgenöthigten Krümmung, *c* die Lage nach dem Zurückschnellen bedeutet. (Fig. 3.)

Biegung in Luft.

Wurzeln von Pisum sativum, 1/4 Minute lang in der Lage *b* gehalten:

Länge der Wurzel	Kleinster Krümmungsradius in *b*.	Entfernung der stärkst gekrümmten Region von der Spitze	Kleinster Krümmungsradius in der Lage *c*.
34 Mill.	10 Mill.	11 Mill.	25 Mill.
28 ,,	8 ,,	9 ,,	15 ,,
30 ,,	10 ,,	10 ,,	15 ,,

Wurzeln von Vicia Faba, 1/4 Minute in der Lage *b* gehalten:

95 Mill. . . 25 Mill. . . . . . 45 Mill. . . . . . 30 Mill.

eine andere Wurzel, 5 Min. in der Lage *b*:

133 Mill. . . 30 Mill. . . . . . 63 Mill. . . . . . 50 Mill.

Biegung unter Wasser.

Wurzeln von Vicia Faba.

Länge der Wurzel.	Kleinste K.-R. in Lage *b*.	Entfernung der stärkst gekr. Region von der Spitze	Kleinster K.-R. in Lage *c*.
70 Mill.	20 Mill.	33 Mill.	30 Mill.
63 ,,	15 ,,	38 ,,	25 ,,

Nach dreistündigem Liegen unter Wasser hatten beide Wurzeln noch eine Krümmung von circa 50 Mill. kleinstem Radius.

Uebrigens kann man sich durch ein noch viel einfacheres Verfahren, nicht nur von der grossen Biegsamkeit der ausgewachsenen Wurzelregion, sondern auch von ihrer sehr unvollkommenen Elasticität überzeugen; indem man nämlich frische Wurzeln von 3 oder mehr Cm. Länge einfach zwischen den nassen Fingern biegt; es gelingt auf diese Weise, ihnen innerhalb der Grenze ihrer Biegsamkeit fast jede beliebige Form zu geben, wie einem nur wenig elastischen Draht. — Sehr junge, kurze Wurzeln bei Faba (von 8—10 Mill. Länge) entbehren noch einer älteren, völlig ausgewachsenen Region, die allein in hohem Grade biegsam ist; da aber die hier allein vorhandene wachsende Region, wie erwähnt wurde, nur wenig biegsam ist, so brechen so junge Wurzeln leicht bei unsanfter Berührung.

Verkürzung und Verlängerung der Wurzeln durch Veränderungen des Turgors.

§. 10. Die Wurzeln, zur Aufnahme flüssigen Wassers aus der Umgebung bestimmt, geben das Wasser auch leicht durch Verdunstung wieder ab; dabei verkürzen sie sich und werden schlaff, d. h. biegsamer als im

turgescenten Zustand. Die Verkürzung ist auch dann schon messbar, ja sie erreicht 3—5 Proc. der Länge, wenn der Wasserverlust auch so gering ist, dass er dem Leben der Wurzel durchaus nicht schadet. In diesem Falle trifft die Verkürzung vorwiegend oder allein die jüngeren Theile, jedoch nicht bloss die im Wachsen begriffenen, sondern auch die jüngeren Theile der bereits ausgewachsenen Region.

Legt man eine derartig erschlaffte Wurzel in Wasser, so wird sie in einigen Minuten wieder straff, indem sie zugleich ihre frühere Länge wieder gewinnt.

Bei den hier beispielsweise angeführten Versuchen liess ich die Keimpflanze erst $1/4$—$1/2$ Stunde in Wasser liegen, damit die Wurzeln völlig turgescent würden. Dann wurden diese mit einem Leintuch abgetrocknet und von der Spitze aus in Zwischenräumen von je 10 Mill. markirt; darauf blieben die Keimpflanzen während der angegebenen Zeit in der trocknen Zimmerluft bei ca. 20° C. liegen:

Pisum sativum

Nummer der markirten Stücke	ursprüngliche Länge der Stücke	Länge nach 10 Min. in trockener Luft	Verkürzung in pCt.
IV	47 Mill.	47 Mill.	0 pCt.
III	10 ,,	10 ,,	0 ,,
II	10 ,,	9,5 Mill.	5 ,,
I	10 ,,	8,8 ,,	12 ,,
Spitze.			

Ein 10 Minuten langes Liegen in Wasser brachte die verkürzten Stücke I, II wieder auf die Länge von je 10 Mill.

Vicia Faba,
erste Keimpflanze

Nummer der markirten Stücke.	ursprüngliche Länge derselben.	Länge der Stücke nach 30 Minuten in Luft.
IV	10 Mill.	10,0 Mill.
III	10 ,,	9,6 ,,
II	10 ,,	9,5 ,,
I	10 ,,	9,5 ,,
zweite Keimpflanze		
IV	10 Mill.	10 Mill.
III	10 ,,	9,6 ,,
II	10 ,,	9,5 ,,
I	10 ,,	9,3 ,,

1) Hier wie bei allen folgenden Gelegenheiten bezeichne ich die markirten Stücke der Wurzel mit römischen Zahlen und zwar so, dass I immer das unmittelbar über der Spitze liegende Stück bedeutet.

Bei Faba ist, wie ich unten zeigen werde, die wachsende Region 8—10 Mill. lang; das Stück I umfasst also vorwiegend nur diese, und die Messung zeigt, dass hier die Verkürzung beträchtlicher ist als an den weiter rückwärts liegenden, bereits ausgewachsenen Stücken.

Je dünner eine Wurzel ist, desto kleiner kann der Wasserverlust sein, der eine bestimmte Verkürzung bewirkt und desto rascher wird diese eintreten, wenn die Wurzel in freier Luft liegt; daher zeigen die dünnen Wurzeln von Pisum schon nach 10 Minuten starke Verkürzung, die bei den dicken von Faba erst nach 1/2 Stunde eintritt. Aehnlich wie die von Pisum verhält sich die Wurzel von Zea Mais.

Lässt man keimende Samen in der feuchten Luft eines Recipienten (Fig. 1 *A*) sich weiter entwickeln, so wächst die Wurzel zwar einige Tage lang fort, erschlafft aber dabei; ich lasse es hier unentschieden, ob diess von Verdunstung in dem vielleicht nicht ganz dampfgesättigten Raum oder nur davon herrührt, dass das zum Wachsen der Wurzel nöthige Wasser nicht rasch genug aus den Cotyledonen herbeigeführt wird. Legt man solche in feuchter Luft gewachsene Wurzeln in Wasser, so verlängern sie sich, indem sie vollkommen turgescent werden, sehr beträchtlich in kurzer Zeit; z. B.

Vicia Faba.

Nummern der Pflanze.	Länge des markirten in Luft gewachsenen Stückes.	Länge nach 10 Min. in Wasser von 15° C.	Verlängerung durch Turgescenz.
No. 1	48,2 Mill.	51,2 Mill.	6,3 pCt.
No. 2	49,5 ,,	52,0 ,,	5,0 ,,
No. 3	53,0 ,,	56,1 ,,	5,7 ,,
No. 4	44,0 ,,	46,5 ,,	5,4 ,,

Das vorausgegangene Wachsthum dieser Wurzeln in der feuchten Luft bei 20° C. betrug

	in 22 Stunden	ergiebt auf 10 Minuten
No. 1	18,2 Mill.	0,13 Mill.
No. 2	19,5 ,,	0,15 ,,
No. 3	23,0 ,,	0,17 ,,
No. 4	15,0 ,,	0,11 ,,

Demnach betrug das Wachsthum dieser Wurzeln in feuchter Luft in 10 Minuten weniger als 0,2 Mill., während die Verlängerung durch Steigerung der Turgescenz in gleicher Zeit 2—3 Mill., also mehr als das 10fache von jenem ausmachte.

§. 11. Krümmung einseitig benetzter Wurzeln.[1]) Legt man in feuchter Luft gewachsene, also nicht ganz turgescente Wurzeln, oder

1) Frank (Beiträge p. 43) hat die Krümmung welker Wurzeln bei einseitiger Befeuchtung schon gesehen, aber die Thatsache nicht weiter verfolgt.

solche, deren Turgescenz durch vorheriges Verweilen in freier Luft vermindert worden ist, horizontal so auf eine Wasserfläche, dass nur die Unterseite benetzt wird, die Oberseite aber trocken bleibt, so steigt schon nach einigen Secunden die Turgescenz der benetzten Unterseite, sie verlängert sich und bildet die Convexität der sich aufwärts krümmenden Wurzel. Dabei wird die Wurzelspitze über die Wasserfläche emporgehoben und zwar mit so grosser Geschwindigkeit, dass man die Bewegung leicht mit dem Auge verfolgen kann. Je nachdem die Wurzel weniger oder mehr erschlafft war, kann die Länge des sich aufwärtskrümmenden Stückes 5—10, oder 30—40 Mill. betragen und die Spitze nur einige oder selbst 20 Mill. über das Niveau emporgehoben werden. Je stärker die Krümmung ist, desto steiler wird dabei das junge Ende emporgerichtet.

Es ist kaum nöthig besonders hervorzuheben, dass die Erscheinung auch dann hervortritt, wenn man erschlaffte Wurzeln auf nasses Papier, oder Holz oder auf eine benetzte Glasplatte legt.

In diesem Verfahren hat man ein sehr empfindliches Reagenz, um sehr geringe Grade der Erschlaffung und Verkürzung der Wurzeln nachzuweisen, die mit dem Maassstab nur unsicher oder gar nicht zu erkennen sind, denn es leuchtet ein, dass die Krümmung, zumal bei dünnen Wurzeln, auch dann schon deutlich hervortreten muss, wenn die Längendifferenz der trocknen Ober- und benetzten Unterseite noch eine sehr unbeträchtliche ist. Daher kommt es, dass selbst dicke Wurzeln von Faba, die kaum 1—2 Minuten nach oberflächlicher Abtrocknung an der Luft gelegen haben, und an denen eine Verkürzung mit dem Maassstab noch nicht zu erkennen ist, auf Wasser gelegt, sich deutlich, wenn auch in sehr flachem Bogen aufwärts krümmen; in noch höherem Grade gilt diess natürlich für sehr dünne Wurzeln, da diese nicht nur rascher welken, sondern auch bei geringerer Längendifferenz ihrer Seiten schon deutliche Krümmung zeigen müssen. Aus dem Gesagten ist auch leicht ersichtlich, dass das sich krümmende Stück länger sein kann, als directe Messungen der durch Welken verkürzten Wurzeln erkennen lassen.

Die Krümmung der einseitig benetzten Wurzel ist nicht ein Kreisbogen; sie ist viel energischer innerhalb der wachsenden Region hinter der Wurzelspitze und flacht sich nach hinten mehr und mehr ab. Man erkennt diess ohne Weiteres, wenn man eine Glimmerplatte mit einem System concentrischer Kreise zu Hilfe nimmt und die Thatsache ist leicht erklärlich, da die unter 10 mitgetheilten Messungen zeigen, dass bei dem Erschlaffen vorwiegend die junge wachsende Region sich verkürzt. Diese wird daher auch bei der Aufsaugung des Wassers an der Unterseite desto stärker anschwellen, und somit muss in dieser Region die grösste Längendifferenz der trockenen Ober- und feuchten Unterseite, also auch die stärkste Krümmung entstehen.

Einzelne Stücke des gekrümmten Theils können aber annähernd als Kreisbogen betrachtet und als solche gemessen werden; diess ist bei den folgenden Beispielen geschehen und zwar wurde die am stärksten gekrümmte vordere Region mit dem kleinsten Krümmungsradius gemessen.

Wurzeln von Pisum, in feuchter Luft gewachsen, eine Minute lang auf der Wasseroberfläche gelegen.

Pflanze.	Krümmungsradius der stärkst gekrümmten vorderen Region.	Ungefähre Zahl der Bogengrade dieser Krümmung.
No. 1.	8 Mill.	70°
No. 2.	15 ,,	65°
No. 3.	10 ,,	80°

Wurzeln von Faba, in Wasser gewachsen, dann an der Luft abgetrocknet und ein wenig erschlafft; Krümmung $1/2$ Minute nach dem Auflegen auf die Wasserfläche:

Pflanze.	Kr. Rad. (wie oben.)	Bogengrade. (wie oben.)
No. 1.	30 Mill.	80°
No. 2.	50 ,,	50°
No. 3.	10 ,,	55°
No. 4.	15 ,,	55°
No. 5.	50 ,,	40°

Hinter diesen gemessenen Stücken liegt nun jedesmal noch ein längeres Stück mit flacher Krümmung, welche zur Hebung der Wurzelspitze über das Niveau ebenfalls beiträgt.

Ganz ähnlich verhalten sich die Hauptwurzeln von Zea Mais; es genügt, dieselben 1—2 Minuten an der Luft liegen zu lassen, nachdem man sie aus feuchten Sägspänen, wo sie gewachsen sind, herausgenommen hat, um bei dem Auflegen auf die Wasserfläche Krümmungen mit 10—20 Mill. Radius an der vorderen Region zu erhalten, wobei sich die Spitze mit sichtbarer Geschwindigkeit aufrichtet.

Je kürzere Zeit eine Wurzel an der Luft gelegen, je weniger sie also von ihrer Turgescenz verloren hat, desto flacher wird auch die Krümmung sein und desto mehr wird sich diese auf den vorderen im Wachsen begriffenen Theil beschränken; wie aus dem Mitgetheilten von selbst erhellt und durch Versuche leicht dargethan werden kann. — Bei sehr dünnen Wurzeln hat man übrigens noch zu beachten, dass die Kraft, mit welcher sie sich über das Niveau zu heben suchen, durch die Grösse der Adhäsion an diesem ganz oder zum Theil überwogen werden kann; die Krümmung wird hier erst dann vollständig gesehen, wenn man die dünne Wurzel von der Wasserfläche wieder abhebt.

Um das weitere Verhalten der über das Wasserniveau emporgekrümmten Wurzelspitzen kennen zu lernen, benutze ich folgende Einrichtung: auf dem Boden eines grossen Porcellannapfes oder einer gläsernen Krystallisirschale wird mit Siegellack ein Korkstück aufgekittet, dann soviel

Wasser eingegossen, dass es den Kork grade bedeckt. Mit Nadeln werden nun die Keimpflanzen auf diesem so befestigt, dass die Wurzel ihrer ganzen Länge nach grade auf der Wasserfläche adhärirt. Die Emporkrümmung beginnt sofort; nachdem ein Glasdeckel aufgelegt ist, um den Luftraum über dem Wasser feucht zu behalten, lässt man das Ganze ruhig stehen. Der Verlauf des Weiteren könnte wesentlich gestört werden, wenn man die im folgenden Paragraphen zu beschreibende, auf der Bilateralität der Keimpflanzen beruhende Krümmung ausser Acht liesse; es ist daher nöthig die Samen der Papilionaceen so zu befestigen, dass einer der beiden Cotyledonen unten, die symmetrisch theilende Medianebene der Keimpflanze also horizontal liegt.[1] Diess vorausgesetzt, bleibt die Wurzelspitze über Wasser, wenn auch die Krümmung hinter ihr sich zuweilen mehr abflacht. Erst in Folge des fortschreitenden, wirklichen Wachsthums krümmt sie sich abwärts, während der concav aufwärts gerichtete ältere Theil seine Krümmung behält.

Richtet sich nun die fortwachsende Spitze steil nach unten, so taucht sie in das Wasser ein und wächst in demselben weiter fort, ohne sich jemals wieder über das Niveau zu erheben; ist dagegen die Abwärtskrümmung sehr flach, trifft also die fortwachsende Spitze unter einem sehr spitzen Winkel auf das Wasserniveau, so wird nun abermals nur die Unterseite des Endstückes benetzt, es erfolgt eine neue Aufrichtung der Wurzelspitze in Folge einseitiger Benetzung und auf diese folgt abermals eine durch Wachsthum veranlasste Abwärtskrümmung. Diese Vorgänge können sich mehrmals wiederholen, so dass endlich die Wurzel von 6—10 Cm. Länge in Form einer Wellenlinie auf dem Wasser hinläuft, indem die Wellenberge derselben sich ganz über dem Niveau in Luft befinden, während die den Wellenthälern entsprechenden Stellen das Wasser mit ihrer Unterseite berühren. Ich habe dieses Verhalten wiederholt bei Mais- und Erbsenwurzeln beobachtet, bei denen von Faba gelang es jedoch nicht eine zweite Hebung der Spitze zu sehen, da dieselbe nach der ersten Hebung, bei Beginn des Versuchs immer zu steil abwärts wuchs und so allseitig in's Wasser eintauchte, womit natürlich jede Ursache zu neuer Hebung wegfällt.

Die hier beschriebenen Erscheinungen sind von anderen Beobachtern bereits mehrfach gesehen, aber ganz anders gedeutet worden; zunächst dürften einige Angaben Hofmeister's über die Aufwärtskrümmung von Wurzeln ihre genügende Erklärung durch meine Darlegung finden; so vor Allem die in Pringsheim's Jahrbüchern Bd. III, p. 90, die sich auf Lepidium, Pisum, Vicia sativa beziehen, vielleicht auch die auf p. 89. — Ich selbst

1) Die mir anfangs noch unbekannte Bedeutung dieses Umstandes verursachte, dass eine Angabe in meiner vorläufigen Mittheilung l. c. mit dem hier Gesagten nicht ganz übereinstimmt.

habe offenbar dieselbe Erscheinung schon in meinem Handbuch der Exp.-Physiologie 1865 p. 103 Fig. 11 abgebildet, sie aber unrichtig gedeutet, indem ich die Aufwärtskrümmung bei *c*, von Hofmeister's Theorie ausgehend, für eine durch die Gravitation bewirkte »active« Aufrichtung hielt, was sie gewiss nicht ist; denn meine neueren Versuche zeigen, dass eine allseitig befeuchtete, oder allseitig trockene Wurzel diese Aufwärtskrümmung niemals zeigt (über andere Hebungen der Wurzel vergl. den folgenden Paragraph). Wenn Frank[1]) bei seinen Versuchen die Aufrichtung der Wurzelspitze niemals beobachten konnte, so kann diess nur in Folge des Umstandes geschehen sein, dass seine Wurzeln allseitig nass oder allseitig trocken waren. Ich zweifle nicht, dass, wenn die genannten Beobachter, sowie Ciesielski ihre hier citirten Beobachtungen nach den von mir dargelegten Gesichtspunkten nochmals wiederholen wollten, sie genau zu demselben Resultat wie ich kommen würden. Wer Ciesielski's Darstellung p. 33 seiner Dissertation[2]) liest, wird die von mir hier beschriebenen Erscheinungen in ihren wesentlichen Elementen gewiss wiedererkennen, seine Erklärung jedoch, wonach die Aufwärtskrümmung durch ein stärkeres W a c h s e n der von Wasser benetzten Seite hervorgerufen sein soll, gewiss nicht gelten lassen. Schon die Geschwindigkeit dieser Aufwärtskrümmung, die unter den Augen des Beobachters stattfindet, die aber Allen, auch mir früher entgangen ist, zeigt, dass es sich dabei nicht um Wachsthum handelt, während der Umstand, dass nur trockene Wurzeln, die einen Theil ihrer Turgescenz verloren haben (was unter den Händen des Experimentators während der Präparation des Versuchs geschieht), die Erscheinung bei einseitiger Benetzung zeigen, in dem unter § 10 Gesagten seine volle Erklärung findet. Damit fällt nun aber auch Ciesielski's ganze Theorie der Abwärtskrümmung (l. c. p. 32) hinweg, gegen die ich mich bereits in dem 2ten Heft »der Arb. d. bot. Inst. in Würzburg« p. 220 aus anderen Gründen ausgesprochen habe.

Um über meine Auffassung der hier beschriebenen Vorgänge an Wurzeln keinen Zweifel zu lassen, will ich noch einmal hervorheben, dass die Aufwärtskrümmung des vorderen Wurzeltheils, in Folge einseitiger Benetzung der Unterseite, nicht durch Wachsthum, sondern durch Steigerung der Turgescenz dieser Seite hervorgerufen wird; in Folge dieser kann später auch eine Steigerung des Wachsthums auf dieser Seite eintreten und die Krümmung zu einer bleibenden machen; die Aufwärtskrümmung selbst aber ist in ihrer Entstehung allein von der durch Wasseraufnahme gesteigerten Längenzunahme der Zellen der Unterseite hervorgerufen. Die Abwärtskrümmung dagegen, welche später innerhalb derjenigen Region

1) Frank, Beiträge zur Pfl.-Physiol. (Leipzig 1868) p. 31 und botan. Zeitung 1868 p. 579 ff.

2) Ciesielski, Untersuchungen über die Abwärtskrümmung der Wurzel. Breslau, 1871; die betreffende Stelle habe ich in unserem 2ten Heft p. 219 wörtlich citirt.

eintritt, in welcher sie auch sonst überall erfolgt, ist allein Folge des stärkeren Wachsthums der Oberseite dieses Theils und nach den in den folgenden Abschnitten gegebenen Gesichtspunkten zu beurtheilen.

Nutationen der Hauptwurzel.

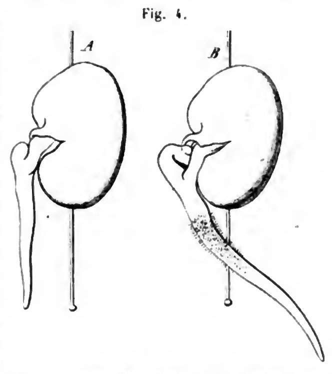
§. 12. Es ist eine sehr gewöhnliche Erscheinung, dass Wurzeln in feuchter Luft oder in Wasser, ja selbst in Erde, wenn ihre Spitze normal abwärts gerichtet ist, nicht vollkommen gradlinig fortwachsen, sondern leichte, zuweilen auch kräftigere Krümmungen zeigen, ohne dass sich dafür irgend eine wahrnehmbare Ursache angeben liesse. Es sind offenbar innere, im Gewebe selbst liegende Ungleichartigkeiten, welche es bewirken, dass das Wachsthum bald auf dieser, bald auf jener Seite der Wurzeln stärker oder schwächer, als auf der andern ist und so Krümmungen bewirkt, die sich gewöhnlich nicht wieder ausgleichen. Das Verhalten von Wurzeln, welche in langsam rotirenden Recipienten wachsen, zeigt sogar, dass wenn der Einfluss der Schwere, der die Wurzel immer grade abwärts zu richten sucht, aufgehoben ist, die Nutationen viel stärker auftreten; es kommt dann nicht selten vor, dass die Wurzel von Faba sich in Form eines ganzen Kreises oder einer Spirale von mehr als einem Umgang am fortwachsenden Theil, 8—10 Cm. entfernt vom Wurzelhals einrollt. Diese Nutation ist nicht zu verwechseln mit der krankhaften Einrollung eben aus der Samenschale austretender Wurzeln, die schon mehrfach von Anderen beschrieben worden ist; die Krümmungsebene hat durchaus keine bestimmte Beziehung zur Rotationsebene und die Concavität der Krümmung kann auf der Vorderseite oder auf der Hinterseite der Wurzel liegen.

Als Hinterseite bezeichne ich nämlich zunächst bei den Keimpflanzen der Papilionaceen diejenige, auf welcher die Convexität des austretenden Keimstengels liegt, so nämlich, dass die beiden Cotyledonen als nach vorn hin zusammengelegt erscheinen; ein Längsschnitt, der die Keimaxe so halbirt, dass jede Hälfte einen der Cotyledonen behält, ist die Mediane oder der Hauptschnitt des Keims, der diesen in eine rechte und eine linke Hälfte theilt. Mit diesen Symmetrieverhältnissen der Keimpflanzen von Pisum, Faba, Phaseolus, auf deren Betrachtung ich mich hier beschränke, hängt eine eigenthümliche Nutationsbewegung zusammen, die bei Untersuchungen über das Wurzelwachsthum berücksichtigt werden muss, wenn man nicht in Irrthümer verfallen will, die aber bisher unbemerkt geblieben und in ihren Wirkungen unrichtig gedeutet worden ist.

Legt man Samen von Faba mit der Micropyle abwärts in Sägspäne oder feuchte Erde, so hat die austreibende Wurzel anfangs eine leichte Concavität nach vorn hin, die sich jedoch bei weiterem Wachsthum in diesen Medien gewöhnlich vollkommen ausgleicht, so dass die Wurzel grade abwärts wächst. Fig. 4, *A* zeigt eine Keimpflanze dieser Art, deren Wurzel

sich bereits gerade gerichtet hat und deren Keimstengel soeben zwischen den Cotyledonenbasen heraustritt. Werden nun Keimpflanzen in diesem Zustand oder später im Recipienten so befestigt, dass die Wurzel senkrecht abwärts gerichtet ist, und sorgt man dafür, dass die Nadel der Wurzel parallel steht, wie in *A*, so findet man, mag sich die ganze Pflanze in feuchter Luft oder ihre Wurzel in Wasser befinden, nach 24 Stunden oder schon früher, dass die Wurzel eine andere Lage angenommen hat, etwa so wie in *B*. Indem nämlich der Keimstengel sich aus der Samenschale zu befreien sucht, wird die Wurzel dann mit dem kurzen hypocotylen Gliede nach vorn gestossen, und zwar ausnahmslos nach vorn, niemals nach hinten oder seitwärts. Diese Bewegung nach vorn ist, wie es scheint, wenigstens zum Theil durch

Fig. 4.



Keimpflanzen von Faba; *A* in feuchten Sägspänen gewachsen senkrecht in feuchter Luft befestigt; *B* dieselbe 24 Stunden später.

das Wachsthum der Cotyledonenstiele bedingt. zugleich aber wird sie verstärkt durch eine Krümmung, welche gleichzeitig im hypocotylen Gliede und dem oberen Wurzeltheil, 1—2 Cm. desselben umfassend, so eintritt, dass die Hinterseite dieser Region convex wird, wie *B* zeigt. Dadurch kommt nun das fortwachsende Wurzelende schief gegen die Verticale zu liegen und indem es sich in sanftem Bogen abwärts krümmt, behält der obere Theil der Keimaxe die beschriebene Lage. Auch bei Wurzeln, die in lockerem Boden sich weiter entwickeln, findet man diese Nutation nach vorn, wenn auch schwächer, ausgebildet. Dass diese Krümmung von der Schwere überhaupt von äusseren Ursachen ganz unabhängig ist, zeigt sich besonders deutlich darin, dass Fabakeime in beliebiger Lage innerhalb eines langsam rotirenden Recipienten sie immer erkennen lassen. — Ganz ähnliche Erscheinungen zeigt Phaseolus multiflorus wenn der Same bei beginnender Keimung mit der Micropyle unten lag; ebenso auch Pisum, wo jedoch die Nutation der hypocolyten Axe nach vorn nicht so ausnahmslos und oft weniger energisch eintritt.

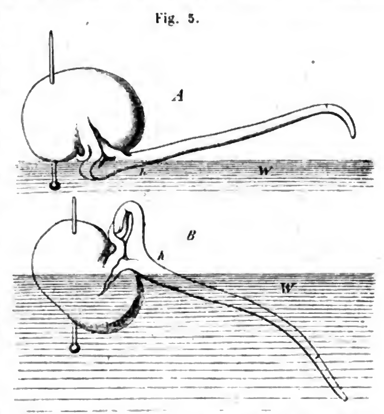
Die beschriebene Nutation macht sich übrigens auch dann noch geltend, wenn die Krümmung in einer anderen, als der oben genannten Lage, begonnen hat; wenn die Samen mit der Micropyle nicht abwärts gekehrt lagen, die austretende Wurzel also nach dem Nabel des Samens hin oder von ihm weg, oder seitlich gewendet ist.

Eine ähnliche Erscheinung glaubte ich anfangs bei den keimenden Eicheln zu bemerken, die horizontal auf Sand, Erde oder Sägspänen liegend, ihre austreibende Wurzel nicht sofort senkrecht hinabsenden; vielmehr schmiegt sich dieselbe gewöhnlich der Rundung der Fruchtschale dicht an, um erst später abwärts zu wachsen. Querschnitte durch die keimenden Eicheln zeigen jedoch sofort, dass diese Krümmung der Wurzel keine bestimmte geometrische Beziehung zur Symmetrie der Keimpflanze erkennen lässt. Es ist für den hier verfolgten Zweck einstweilen unnöthig auf die beschriebenen Erscheinungen genauer einzugehen; die aus der Bilateralität der Keimpflanzen entspringenden Nutationskrümmungen müssen ohnehin, auch im Interesse der Untersuchungen über den Heliotropismus an Keimstengeln, einer besonderen Untersuchung unterzogen werden, die ich, mit Hilfe der langsamen Rotation bereits begonnen habe. Hier habe ich auf die Erscheinungen bei den Bohnen und Erbsen nur deshalb hingewiesen, weil sie bei Untersuchungen über den Geotropismus ihrer Hauptwurzel als Fehlerquelle auftritt, die durchaus berücksichtigt werden muss, wenn die Beobachtungen an horizontal gelegten Keimpflanzen dieser Familie nicht fehlerhaft ausfallen sollen.

Befestigt man z. B. zahlreiche Keime von Faba, die sich in feuchten Sägspänen entwickelt haben, so, dass ihre grade, 2—5 Cm. lange Wurzel horizontal in Luft oder in Wasser liegt, so bemerkt man nach mehreren Stunden oder nach längerer Zeit, dass die Wurzeln bei den einen noch ihre horizontale Lage besitzen, während die der anderen entweder schief aufwärts gerichtet sind oder abwärts hängen; ist unterdessen auch die Spitze weiter fortgewachsen, so zeigt diese je nach der Richtung des älteren Wurzeltheils eine mehr energische oder mehr abgeflachte Krümmung. — Die genauere Betrachtung lässt nun aber sofort erkennen, dass die Ablenkung aus der horizontalen Lage einer ausnahmslosen Regel folgt, dass nämlich die Ablenkung immer hervorgebracht ist durch eine Hinneigung der Wurzel nach der Vorderseite des Samens, dass sie oft mit einer deutlichen Krümmung der hypocotylen Axe concav nach vorn verbunden ist. Fig. 5 zeigt z. B. zwei Keimpflanzen, die vor mehreren Stunden so befestigt wurden, dass ihre Wurzeln horizontal in Wasser *w* lagen; bei der einen *A* liegt aber die Hinterseite *h* unten, bei der anderen *B* oben; die Cotyledonen sind durch Nadeln unverrückbar befestigt. Bei *A* hat sich nun die Wurzel aus dem Wasser emporgehoben, bei *B* ist sie schief hinabgetaucht; man bemerkt leicht, dass diess in beiden Fällen nur dadurch geschehen konnte, dass der obere Theil der Keimaxe (hypocot. Glied und Wurzelbasis) sich nach vorn hin dem Samen genähert hat; in diesem Falle hier erscheint diese Annäherung als eine Gradestreckung, da die Axe vor dem Versuch rückwärts gekrümmt war, was jetzt durch eine Vorwärtskrümmung ausgeglichen ist. Hätte man nun die beiden Keimpflanzen in denselben Lagen auf einer horizontalen festen Platte befestigt, so leuchtet ein, dass

die Wurzel von *A* sich ungehindert gehoben hätte, während dagegen die von *B* ihrem Streben sich abwärts (vorwärts) zu senken, nicht hätte folgen können; sie hätte sich der festen Unterlage nur fester angedrückt. Hätte man zu dem Versuch Pflanzen mit grader hypocotyler Axe wie *A* in Fig. 4 genommen, so wäre die Emporhebung der Pflanze *A* in Fig. 5 mit einer nun deutlich sichtbaren Krümmung verbunden gewesen, die genau so aussieht, wie die bei der Aufrichtung eines horizontalgelegten Stengels, also wie negativer Geotropismus, was die Krümmung nach dem Gesagten jedoch nicht bedeutet.

Fig. 5.



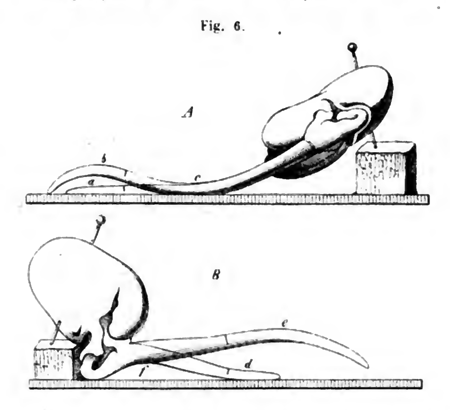
Keimpflanzen von Faba in Sägspänen gewachsen, horizontal in Wasser gelegt; die Wurzel von *A* hat sich gehoben, die von *B* gesenkt.

§. 13. Da nun die Nutation des hypocotylen Gliedes und der Wurzelbasis immer nur in der Medianebene der Keimpflanze Krümmungen bewirkt oder solche, die auf andere Weise entstanden, ausgleicht, so hat man ein Mittel ihre Existenz bei solchen Versuchen unschädlich zu machen, wo es darauf ankommt, das Verhalten der Wurzeln in horizontaler Lage zu untersuchen; es kommt offenbar nur darauf an, die Keimpflanze so zu befestigen, dass sie mit einer Flanke, d. h. mit der rechten oder linken Seite unten liegt; dann wird die Nutation der hypocotylen Axe eine seitliche Verschiebung der Wurzelspitze auf der horizontalen Unterlage bewirken können, ohne sie jedoch über diese emporzuheben oder sie an diese fest anzudrücken.

Fig. 6 zeigt z. B. in *A* die richtige, in *B* die fehlerhafte Befestigung eines Fabakeimes, wenn es sich darum handelt, die geotropische Krümmung der Wurzel auf fester Unterlage zu studiren. *A a* giebt die Lage und Länge der Wurzel zu der Zeit an, wo die Pflanze festgelegt wurde; die Wurzel liegt mit ihrer vorderen Region der Glasplatte dicht auf; *A b* zeigt dieselbe Wurzel einige Stunden später, wo die wachsende Region (vor der Marke) sich verlängert und zugleich gekrümmt hat, während die ausgewachsene Region *c* noch auf der Platte liegt. Die Hebung der Wurzel zwischen *b* und *c* ist hier ausschliesslich Folge der in *b* eingetretenen geotropischen Krümmung (s. unten), denn die Spitze hat sich niemals

von der Platte entfernt. In *B* dagegen hat sich die ganze Wurzel bald nach ihrer Befestigung durch Nutation der Region bei *f* über die Platte

Fig. 6.



emporgehoben; der wachsende Theil *d* hat sich später wie *e* verlängert und seine geotropische Krümmung in flachen Bogen abwärts gemacht.

§. 14. Hätte man nun bei einem Versuch zahlreiche Keimpflanzen mit ihrer Hinterseite zufällig abwärts gelegt, wie *B* Fig. 6, so würde man zuerst bei allen eine Hebung der Wurzel über die Horizontale, je nach Umständen eine deutliche Convexität des basalen Wurzeltheils (Fig. 4) gefunden haben; man würde die Erscheinung, ohne Kenntniss des oben Mitgetheilten, gewiss für eine negativ geotropische Aufrichtung der Wurzel halten, auf welche dann später erst die positiv geotropische Abwärtskrümmung der vorderen wachsenden Region folgt. Hätte dagegen ein anderer Beobachter die Keimpflanzen umgekehrt mit der Rückenseite aufwärts, oder so befestigt, dass die rechte oder linke Flanke abwärts liegt, so hätte er diese Hebung der Wurzel niemals beobachtet, sondern nur den in Fig. 6 *A* bei *b* abgebildeten Vorgang wahrgenommen. Es ist wohl erlaubt zu glauben, dass auf derartiger Verschiedenheit der Befestigung der Keimpflanzen die widersprechenden Angaben Hofmeister's einerseits, Frank's anderseits über die Existenz einer Aufwärtskrümmung der Wurzel vor der Abwärtskrümmung ihrer Spitze wenigstens zum Theil mit beruhen, denn z. Th. wurde die Ursache dieser Meinungsverschiedenheit über ein anscheinend so leicht zu beobachtendes Phänomen bereits in der einseitigen Benetzung der Wurzel (§. 11) gefunden; die Aufwärtskrümmung in Folge der letzteren unterscheidet sich jedoch von der hier besprochenen dadurch, dass sie an der

Spitze beginnt und je nach dem Grad der Erschlaffung nach hinten fortschreitet, also auf alle Fälle die wachsende Region der Wurzel in sich aufnimmt, während die hier besprochene Aufwärtskrümmung nur in der Nähe des Wurzelhalses und nur dann (aufwärts) eintritt, wenn die Pflanze auf dem Rücken liegt. Legt man nun eine derartige Pflanze auf den Rücken und zugleich mit trockener Wurzel auf nasse Unterlage, so können sich beide Erscheinungen in mannigfaltiger Weise combiniren und noch mehr, wenn die Keimung in schiefer Samenlage begann, die Beziehung der Nutation zur Symmetrieebene also eine verwickeltere wird.

Da die Beobachter über die Lage, welche sie bei ihren Versuchen den Keimpflanzen bezüglich ihrer Bilateralität geben, nichts erwähnen, so bin ich mit dem Gesagten allerdings nur auf die oben angedeutete, wenn auch sehr nahe liegende Vermuthung angewiesen, die aber insofern berechtigt ist, als ich im Stande bin, die Angaben beider Beobachter aus meinen Beobachtungen als thatsächlich richtig anzuerkennen. Frank hat eben einfach zufällig die Aufrichtung der Wurzeln, die Hofmeister gefunden, nicht gesehen; Hofmeistern jedoch kann ich nach dem unter 11 und 12 Gesagten nicht beistimmen, wenn er die von ihm gesehene Hebung der Wurzel als eine Wirkung der Schwere, in ähnlicher Weise, wie bei sich aufrichtenden Stengeln betrachtet, da ich alle von mir gesehenen Hebungen derselben auf einseitige Benetzung der vorderen oder auf die Nutation der basalen Wurzelregion zurückführen kann, während es mir anderseits niemals gelungen ist, an Wurzeln unter Wasser oder ganz in Luft (oder in lockerer Erde) eine Hebung zu sehen, wenn die Medianebene der Keimpflanze horizontal lag; in diesem Falle allein, wäre die Hebung der Wurzelspitze, wenn sie bei den Papilionaceen einträte, als negativer Geotropismus zu deuten.

Wachsen der Wurzeln in Luft, Wasser, Erde.

§. 15. Schon Hofmeister hat (botan. Zeitung 1869 p. 35) den Einfluss des Feuchtigkeitsgrades der Umgebung auf das Wohlbefinden und besonders auf die Art der Abwärtskrümmung der Wurzeln hervorgehoben. Indem ich bezüglich der Letzteren auf einen folgenden Abschnitt verweise, will ich mich hier nur mit der Geschwindigkeit und Dauer des Wachsthums der Hauptwurzel in verschiedenen Medien beschäftigen.

Die in feuchten Sägspänen entwickelten Keime von Faba, Pisum, Phaseolus mit 2—3 Cm. langer Hauptwurzel wurden zunächst 10 Minuten lang in Wasser gelegt und dann so sortirt, dass für das Wachsthum in Luft, Wasser, Erde möglichst gleichartige Keime zur Verwendung kamen, wobei nicht nur die Länge und Dicke der Wurzeln, sondern auch die Grösse der Cotyledonen sorgfältig berücksichtigt wurde. Um die individuellen Verschiedenheiten der Wachsthumsgeschwindigkeit auszugleichen, wurden immer mehrere Keimpflanzen für jedes Medium bestimmt.

Die zum Wachsen in Luft und Wasser bestimmten Keime wurden in die Cylinder Fig. 1 *A*.gebracht, für jene nur der Boden des Gefässes mit Wasser bedeckt, um die Luft feucht zu halten, für diese dagegen wurde soviel Wasser eingefüllt, dass die am Deckel befestigten Keimpflanzen mit der Wurzel in das Wasser reichten, die Cotyledonen aber in der feuchten Luft blieben, wenn es nicht darauf ankam, das Verhalten ganz untergetauchter Keimpflanzen kennen zu lernen. Zur Beobachtung des Wachsens in Erde wurden die Kästen (Fig. 1 *B*) benutzt; in die frisch eingefüllte sehr lockere, hinreichend feuchte Erde wurden die Keime so eingepflanzt, dass die senkrechte Wurzel hinter der Glaswand sichtbar war und blieb, die Cotyledonen etwa 2 Cm. hoch mit Erde bedeckt. Bei jeder Messung wurde die Lage der Wurzelspitze durch einen Papierindex bezeichnet.

a. Wenn die ganze Keimpflanze unter Wasser gelegt wird, so wächst die Wurzel sehr langsam und die Verlängerung hört bald auf; die eintretende Erkrankung der Keimpflanze, die offenbar durch mangelhafte Sauerstoffzufuhr zu den Reservestoffen der Cotyledonen verursacht ist, zeigt sich zuerst an dem Verderben der Wurzelspitze, indem diese weich und misfarbig wird.

So wurden z. B. je 6 Keime von Faba so horizontal befestigt, dass die einen von Wasser ganz bedeckt waren, die anderen über dem Niveau in feuchter Luft schwebten; Länge der Wurzeln anfangs ungefähr 25 Mill., Temperatur im Recipienten der beiderlei Keime enthielt 18—21° C.:

Zuwachse in 24 Stunden:

ganz in Wasser	in feuchter Luft
12 Mill.	24 Mill.
9 ,,	11 ,,
7 ,,	11 ,,
8 ,,	24 ,,
7 ,,	24 ,,
16 ,,	28 ,,
Mittel = 9,9 Mill.	Mittel = 20,3 Mill.

Bei einem anderen Versuch wurden je fünf Keime von Faba in demselben Recipienten mit senkrechter Wurzel so befestigt, dass die einen ganz von Wasser bedeckt waren, bei den anderen aber nur die Wurzel ganz eintauchte; anfängliche Länge der Wurzeln ungefähr 20 Mill., Temp. 18—21° C.

Zuwachse in 38 Stunden:

ganz in Wasser	nur die Wurzel in Wasser.
0 Mill.	27 Mill.
1 ,,	18 ,,
3 ,,	30 ,,
2 ,,	26 ,,
3 ,,	21 ,,
Mittel = 1,8 Mill.	Mittel = 24,4 Mill.
Gewicht aller Keime	
36,3 Grammen.	34,0 Grammen.

Von den ganz eingetauchten wurden die vier, welche Zuwachse zeigten in feuchte Luft gebracht, wo in 24 Stunden die Wurzelspitzen bei Allen verdarben, sie waren aber um 6—4—3—3 Mill. gewachsen; dieses Wachsthum trotz verdorbener Wurzelspitze kann nicht überraschen, wenn man beachtet, dass auch Wurzeln, deren Spitze auf 2—3 Mill. weggeschnitten ist, noch wachsen, es genügt, dass überhaupt noch wachsende Querzonen vorhanden sind, diese folgen dem Gesetz der Partialzuwachse auch wenn die jüngsten Querzonen fehlen (s. unten).

Aus der täglichen Erfahrung bei derartigen Versuchen kann ich ausserdem angeben, dass das Wachsen der Wurzeln selbst dann schon verlangsamt wird, wenn auch nur der dritte Theil oder die Hälfte der Cotyledonen in das Wasser taucht.

b. Vergleicht man bei gleicher Temperatur das Wachsen der Wurzeln solcher Keime, die ganz in feuchter Luft hängen, mit dem solcher Keime, deren Wurzel von Anfang an 1—2 Cm. tief in Wasser taucht, während die Cotyledonen sich in feuchter Luft befinden, so zeigt sich, dass in den ersten 24 Stunden beide im Wachsen fast gleichen Schritt halten, oder dass selbst die in Luft befindlichen Wurzeln etwas schneller wachsen; am 2ten Tage jedoch beginnen diese langsamer zu wachsen und nach 3—4 Tagen hören sie ganz auf, während die in Wasser tauchenden sich noch stark verlängern. — Das im Keim selbst enthaltene Wasser reicht also am ersten Tage hin, die sich vergrössernden Zellen der wachsenden Region am Ende der Wurzel mit dem dazu nöthigen Flüssigkeitsquantum zu versorgen; später wird jedoch die Wasserzufuhr aus den älteren Theilen ungenügend, das Wachsthum der jüngeren erlischt endlich.

An 15—20 Mill. langen Fabawurzeln wurde je 1 Cm. über der Spitze eine Marke angebracht; fünf wurden in einem Cylinder so befestigt, dass die Wurzeln 1 Cm. tief in Wasser tauchten; fünf andere kamen in einen anderen Cylinder ganz in feuchte Luft; in jedem Cylinder eines von zwei verglichenen Thermometern; Temperaturschwankung zwischen 18,7 und 20,2° C. in Wasser, 19,1—21,2 in Luft; Temp. Mittel aus täglichen 4 Ablesungen.

Zuwachse
am ersten Tag (in 24 Stunden).

	Wurzel in Wasser.	Wurzel in Luft.
	18,8 Mill.	22,0 Mill.
	20,2 ,,	11.5 ,,
	19,0 ,,	20,5 ,,
	20,6 ,,	17,0 ,,
	22,3 ,,	21,0 ,,
Mittel =	20,2 Mill.	18,4 Mill.
	Temp. = 20,0° C.	Temp. = 20,1° C.

Zuwachse
am zweiten Tag (in 24 Stunden).

	Wurzel in Wasser.	Wurzel in Luft.
	16,2 Mill.	8,7 Mill.
	13,8 ,,	7,2 ,,
	16,0 ,,	6,0 ,,
	19,5 ,,	10,2 ,,
	20,5 ,,	7,5 ,,
Mittel =	17,2 Mill.	7,9 Mill.
	Tem. = 19,2° C.	Temp. = 19,7° C.

c. Werden von möglichst gleichen Keimen die einen in feuchte Luft, die anderen mit der Wurzel in Wasser, die dritten ganz in lockere feuchte Erde gesetzt, so wachsen die letzten während der ganzen Dauer des Versuchs kräftiger, als die in Wasser und Luft; die in feuchter Luft befindliche Wurzel kann kräftig athmen, leidet aber Mangel an Wasser, die in Wasser tauchende kann dieses reichlich aufnehmen, aber ihre Athmung ist behindert; befindet sich die Wurzel dagegen in feuchter lockerer Erde, so kann sie gleichzeitig Luft und Wasser reichlich aufnehmen, also ihren Bedürfnissen vollkommener genügen, als in den beiden ersten Fällen; die von der Erde dargebotenen Nährstoffe dürften hier kaum in Betracht kommen, da auch die in Brunnenwasser tauchende Wurzel solche aufnimmt: bei länger fortgesetztem Wachsthum, wo auch die Bildung der Nebenwurzeln in Betracht kommt, könnte dieses Moment eher in's Gewicht fallen.

Es wurden 3mal 8 Keimpflanzen von Faba ausgesucht, so dass je eine der einen Abtheilung möglichst genau gleichartig war mit je einer der beiden anderen Abtheilungen; die 3 Abtheilungen liess ich nun in der genannten Weise in feuchter Luft, in Wasser und in Erde wachsen. Die folgenden Zuwachse sind also immer Mittelwerthe aus je 8 Individuen; unter einem Tag sind genau 24 Stunden zu verstehen. Die Temperaturangaben sind aus je 5 täglichen Beobachtungen gewonnen.

Anfängliche Wurzellängen

in Luft	in Wasser	in Erde
23,4 Mill.	21,1 Mill.	21,5 Mill.

Zuwachse am ersten Tag

bei 19,4° C.	19,2° C.	18,7° C.
17,2 Mill.	20,2 Mill.	22,9 Mill.

Zuwachse am zweiten Tag

bei 19,2° C.	18,7° C.	18,4° C.
7,6 Mill.	18,4 Mill.	24,9 Mill.

Zuwachse am dritten und vierten Tag[1])

bei 19,4° C.	19,1° C.	18,6° C.
3,8 Mill.	12,9 Mill.	27,4 Mill.

Zuwachse am fünften Tag

bei 19,6° C.	19,3° C.	18,5° C.
0,0 Mill.	15,3 Mill.	27,5 Mill.

Zuwachse am sechsten Tag

	19,3° C.	18,7° C.
	12,2 Mill.	29,1 Mill.

Die günstige Wirkung der lockeren feuchten Erde macht sich, wie man sieht, trotz der um 0,5—0,6° C. geringeren Temperatur und auch darin geltend, dass die Wachsthumgeschwindigkeit hier bis zum 6ten Tage zunimmt, während sie im Wasser schon am 3ten und 4ten Tage sinkt und in Luft bereits am 3ten Tage ganz erlischt.

Aus den hier mitgetheilten Thatsachen lassen sich zum Zweck weiterer Untersuchung einige practische Regeln ableiten. Vor Allem wird man Erscheinungen an in sehr feuchter Luft wachsenden Wurzeln nur dann für normale halten dürfen, wenn sie in den ersten 24 Stunden des Verweilens der Wurzel in Luft auftreten, da später das Wachsthum sichtlich abnorm wird. Doch zeigt die Erfahrung, dass das Wachsthum in feuchter Luft wesentlich begünstigt wird, wenn man die Wurzeln häufig benetzt, was am besten dadurch geschieht, dass man den geschlossenen Cylinder umkehrt und so die Keimpflanzen überschwemmt. Die dabei an den Wurzeln hängen bleibende Wasserschicht wird aufgesogen und begünstigt das Wachsthum so, dass derartig behandelte Wurzeln lange kräftig fortwachsen, was für viele Versuche erwünscht ist. — Sollen ferner die Wurzeln bei Versuchen in Wasser wachsen, so hat man zu vermeiden, dass nicht auch die Cotyledonen ganz oder theilweise eintauchen. — Kommt es aber darauf an, Versuche mit möglichst normal und kräftig wachsenden Wurzeln zu machen, so wird es immer gerathen sein, solche in feuchter lockerer Erde zu beobachten und die Resultate mit denen zu vergleichen, die man an in Luft und Wasser gewachsenen erhält.

§. 16. Anschwellungen. Lässt man Keime von Faba in feuchter Luft wachsen und werden sie dabei in längeren Zwischenräumen, z. B. täglich einmal momentan benetzt, so tritt sehr häufig eine Abnormität auf, die darin besteht, dass eine Anschwellung über der Spitze sich bildet und zwar an einer Stelle, die zur Zeit der Benetzung ungefähr 2—5 Mill. über der Spitze liegt. Diese Anschwellung erreicht meist einige bis 6, selbst mehr Mill. Länge, sie ist oft beinahe spindelförmig, gegen den oberen älteren Wurzeltheil ist sie gewöhnlich sanft abgedacht, gegen den jüngeren

1) d. h. aus einem zweitägigen Zeitraum auf 24 Stunden berechnet.

neu zuwachsenden Theil aber um so deutlicher abgesetzt, als dieser nicht selten beträchtlich dünner ist, als der hinter der Anschwellung liegende. Wiederholt man das Experiment öfter an derselben Wurzel, so gelingt es, 5—6 Einschnürungen und Anschwellungen hinter einander zu bilden.

Es ist mir bis jetzt nicht gelungen, die wahre Ursache dieser Erscheinung zu ermitteln; sonderbarerweise tritt sie meist nicht ein, wenn die in Luft gewachsene Keimpflanze längere Zeit, $^1/_4$—$^1/_2$ Stunde in Wasser lag und die Wurzel ganz turgescent wurde; ausserdem schien mir momentane Benetzung mit kaltem Wasser die Bildung der Anschwellungen häufiger zu bewirken.

Die Natur dieser durch Benetzung erzeugten Abnormität wird um somehr einer genauen Untersuchung bedürfen, als auch eine Reihe anderer Störungen des Längenwachsthums ähnliche Anschwellungen in der wachsenden Region der Wurzeln hervorrufen, ohne dass die wahre Ursache derselben bekannt wäre.

So findet man bekanntlich zuweilen bei dem Umstürzen von Blumentöpfen Wurzeln, welche auf den Boden aufgestossen, ihr Längenwachsthum eingestellt und über der Spitze eine Anschwellung erzeugt haben. Aehnliches beobachtete ich an Luftwurzeln von Monstera deliciosa, die horizontal fortwachsend auf eine rauhe Wand stiessen. In solchen Fällen ist man versucht die Anschwellung für eine Folge der Quetschung zu halten, der die jüngeren Querzonen der Wurzel dadurch ausgesetzt sind, dass die hinteren noch wachsenden Theile nach vorn drängen, während die Spitze auf Widerstand trifft; in der That wurde diese Ansicht von Hofmeister [1]) ausgesprochen und von mir getheilt; seit ich jedoch ganz ähnliche Erscheinungen an in Luft wachsenden Wurzeln so häufig durch blosse Benetzung eintreten sah, ist mir diese Deutung sehr zweifelhaft geworden. Hieher gehören ferner auch die von Hofmeister [2]) und Müller [3]) beschriebenen Dickenänderungen der wachsenden Wurzeln, wenn diese zeitweise rascher Rotation, also der Wirkung der Centrifugalkraft unterworfen werden. Hofmeister spricht jedoch in diesem Falle von Verdünnung der während der Rotation gewachsenen Strecke, Müller nur von Anschwellungen, die während der zwischenliegenden Ruhepausen entstehen. Ich habe diese Erscheinungen an rasch rotirenden Wurzeln noch nicht untersucht und enthalte mich daher jedes abschliessenden Urtheils über ihre wahre Natur. Gelegentlich sei nur erwähnt, dass ich die Anschwellungen auch bei solchen Fabawurzeln auftreten sah, die in einem sehr langsam rotirenden Recipienten (der in 20 Min. eine Umdrehung machte) wuchsen und täglich einmal mit Wasser benetzt wurden.

---

1) Hofmeister, Die Lehre von der Pfl.-Zelle p. 283.

2) ebenda.

3) Müller, Bot. Zeitung. 1871, p. 716.

Wachsthums-Modus der Hauptwurzel.

§. 17. Länge der wachsenden Region. Schon DUHAMEL[1]) suchte die Länge der hinter der Wurzelspitze liegenden Region zu bestimmen, innerhalb welcher das Längenwachsthum erfolgt; als er zu diesem Zweck in Wasser wachsenden Hauptwurzeln der Keime von Nüssen, Mandeln, Eicheln und Kernobst das 3—4 Linien (also ungefähr 6—8 Mill.) lange Endstück abgeschnitten hatte, zeigte der zurückbleibende Theil keine Verlängerung mehr, und als er feine Silberdrahtstifte in verschiedenen Entfernungen von der Spitze durch die Wurzeln steckte, und später deren Lage zu einer festen Scala bestimmte, waren diejenigen Stifte, welche anfänglich 2—3 Linien (4—6 Mill.) über der Spitze eingesteckt waren, unverrückt geblieben.

Erst 80 Jahre später nahm OHLERT[2]) die Frage wieder auf. Er liess in einer Bleiröhre mit seitlichem Ausschnitt Samen von Lupinus, Phaseolus, Pisum in Erde keimen, aber so, dass die Wurzel unterhalb der Erde in einen freien Raum der Röhre trat, also in feuchter Luft weiter wuchs, wo er dann von der Spitze ausgehend in Entfernungen von je $1/2$ Linie (also ungefähr 1 Mill.) farbige Punkte auf der Wurzel anbrachte, von denen No. 1 der von der Spitze entfernteste, No. 20 der der Spitze nächste war; nach 24 Stunden waren nun die Punkte 1—18 unverändert, No. 20 stand noch an der Spitze wie vorher, »aber Punkt 19 war auseinander gezogen und nahm einen Raum von etwa $1/2$ Zoll ein«. Indem er das wachsende Stück täglich neu eintheilte, ergab sich das Resultat: »dass nämlich die einmal gebildete Wurzelfaser sich in ihrem Inneren nicht mehr verlängert, dass auch die Spitze nicht neu erzeugt wird, dass aber das Wachsthum in die Länge in der Art vor sich geht, dass an einer Stelle, etwa $1/2$ Linie über der äussersten Spitze stets neue Materie eingeschoben wird.« Die Messungen OHLERT's und seine Beurtheilung derselben können unmöglich sehr genau gewesen sein, sonst hätte er die Länge der wachsenden Region bei den genannten Pflanzen statt $1/2$ Linie, 2—3 Linien lang finden müssen.

WIGAND[3]) theilte 2 Linien lange Wurzeln von Pisum in je 4 gleiche Theile; nach 3 Tagen hatten sich nur die unteren, also ein Stück von anfänglich 1 Linie Länge verlängert; noch kürzer fand er in ähnlicher Weise verfahrend die wachsende Region bei Lepidium.

Aus HOFMEISTER's Angaben[4]) kann man entnehmen, dass er die wachsende Region der Keimwurzel von Faba in 24 Stunden einmal länger als

---

1) DUHAMEL, phys. des arbres. Paris 1758, I p. 83, 84.

2) OHLERT, Linnaea. 1837, p. 616.

3) WIGAND, Botanische Untersuchungen, Braunschweig 1854, p. 159.

4) HOFMEISTER, Jahrb. f. wiss. Bot. III, p. 96, 97, 98; die oben von mir gebrauchte Ausdrucksweise findet ihre Erklärung weiter unten.

4 und kürzer als 5,5 Mill., in einem anderen Falle kürzer als 4 Mill. fand, für Pisum zeigen seine Zahlen, dass die wachsende Region (Messung 16 Stunden nach der Markirung) einmal länger als 6 und kürzer als 9 Mill., ein andermal länger als 5,5, kürzer als 8,7 Mill. war; in einem dritten Fall war sie länger als 5,1 und kürzer als 6,9 Mill.

Frank[1]) markirte Pisumwurzeln und fand die Länge des wachsenden Stückes 1,4 bis 2,8 Linien (also ungefähr 2—5 Mill.); bei Linum usitatissimum nur 1 Linie (also ungefähr 2 Mill. in feuchter Luft).

Bei Müller[2]) finde ich keine bestimmte Aeusserung über die von ihm gefundene Länge der wachsenden Region an Pisumwurzeln.

Ciesielski[3]) theilte die Wurzeln in 0,5 Mill. lange Zonen und aus seiner Tabelle ist ersichtlich, dass bei 20stündigem Wachsthum die Länge der wachsenden Region war:

bei Pisum sativum circa 6 Mill.
,, Vicia sativa circa 5,5 Mill.
,, Lens esculenta circa 4,5 Mill.

Bei meinen sehr zahlreichen Beobachtungen über die vorliegende Frage setzte ich den ersten Theilstrich (Marke No. 0) so, dass ein Querschnitt an dieser Stelle den Vegetationspunkt der Wurzelspitze treffen würde. Diess ist natürlich nur mit annähernder Genauigkeit möglich, da man den Vegetationspunkt nur ziemlich unbestimmt durchschimmern sieht. Immerhin vermeidet man dadurch den viel grösseren Fehler, die vor dem Vegetationspunkt liegende, einige bis 5 Zehntelmillim. umfassende Länge der Wurzelhaube, die gar nicht in Betracht kommen soll, in die Messung mit aufzunehmen und so die wachsende Region zu lang zu finden, während bei Vernachlässigung dieser Vorsicht, die erste wachsende Zone zum Theil der Haube, zum Theil dem Wurzelkörper angehört und mit den anderen Zonen nicht streng zu vergleichen ist.

Hat man nun eine Wurzel mit einer Anzahl äquidistanter Striche versehen und misst man deren Entfernung nach einiger Zeit, so findet man eine Querzone als die letzte, die sich noch verlängert hat, alle hinter ihr liegenden haben sich nicht verlängert oder sogar verkürzt (vgl. 18). Inwieweit es nun möglich ist, aus diesen Wahrnehmungen einen Schluss zu ziehen, mag an einem Beispiel erläutert werden.

Eine in Wasser senkrecht wachsende Wurzel von Faba war vom Vegetationspunkt aus in 10 Querzonen von je 1 Mill. Länge getheilt worden; die einzelnen Zonen sollen von der Spitze aufwärts gezählt I, II . . . . X heissen. Nach 15stündigem Wachsen bei 20—20,7° C. ergaben sich nun folgende Verlängerungen (Zuwachse) der einzelnen Querzonen:

1) Frank, Beiträge p. 34.

2) Müller, Bot. Zeitung. 1871 p. 700.

3) Theophil Ciesielski, Unters. über die Abwärtskrümmung der Wurzel; Breslau, 1871, p. 11.

Zone.	Verlängerung.
X	0,0 Mill.
IX	0,2 ,,
VIII	0,3 ,,
VII	0,6 ,,
VI	1,4 ,,
V	2,0 ,,
IV	2,5 ,,
III	2,0 ,,
II	1,2 ,,
I	0,8 ,,
Gesammtverlängerung	11,0 Mill.

Die letzte gewachsene Zone oder Querscheibe von 1 Mill. anfänglicher Länge war also die neunte und die Länge der ganzen wachsenden Region umfasste somit 9 Querscheiben von je 1 Mill. Länge; es wäre aber ungenau zu sagen, sie sei 9 Mill. lang; denn wenn auch die 9te Querscheibe sich verlängert hat, so ist doch ungewiss, ob die ganze 9te Querscheibe, oder nur ein an VIII angrenzender Theil derselben gewachsen ist; wäre letzteres, wie wahrscheinlich, der Fall, so wäre die wachsende Region nur 8 Mill. und einen Bruchtheil eines Millimeters lang. Da diese Ungewissheit besteht, so lehrt unsere Messung also nur, dass die wachsende Region gewiss länger als 8 und sehr wahrscheinlich kürzer als 9 Mill. ist. — Bei dem gegenwärtigen Stand der hier in Betracht kommenden Fragen genügt diess nun vollkommen, und eine grössere Genauigkeit ist nicht wohl zu erzielen; anscheinend allerdings dadurch, dass man die Querscheiben kürzer nimmt, z. B. 0,5 Mill. lang; allein es ist zu beachten, dass man bei dem Aufsetzen der Marken sich leicht um 0,1 Mill. irrt, dass man auch bei der Messung einen Fehler von 0,1 Mill. machen kann; diess fällt aber um so mehr in's Gewicht, je kleiner der Zuwachs des gemessenen Stückes überhaupt ist, er ist aber um so kleiner, je kürzer die wachsende Querscheibe ist. Wäre in unserem Beispiel die neunte Zone in zwei Zonen *a*, *b* von je 0,5 Mill. abgetheilt worden, und wäre *a* um 0,15 Mill., *b* um 0,05 Mill. gewachsen, so würde die Messung, die höchstens noch Zehntelmill. angiebt, gefunden haben für *a* den Zuwachs 0,1 Mill., für *b* den Zuwachs 0,0; es wäre also unrichtig, zu glauben, man habe diessmal genauer beobachtet als vorhin. Hätte man dagegen die Querzonen bei unserer Wurzel anfangs je 3 Mill. gemacht, und diese von der Spitze beginnend als A, B, C, D bezeichnet, so hätte die Messung ergeben

Zone	Zuwachs
D	0,0 Mill.
C	1,1 ,,
B	5,9 ,,
A	4,0 ,,

In diesem Falle ist die Zone C die letzte wachsende, sie ist aber 3 Mill. lang und man kann unmöglich wissen, ob die ganze Zone C oder nur ein kleiner über B liegender Theil derselben noch gewachsen ist; man kann in diesem Falle also nur sagen, die wachsende Region ist gewiss länger als 6, aber sehr wahrscheinlich kürzer als 9 Mill. Der Spielraum der Ungewissheit ist hier also viel grösser als oben, wo wir die Zonen je 1 Mill. lang gemacht hatten. Es kommt also darauf an, die Zonen so kurz zu machen als möglich, aber zu beachten, dass dabei die Zuwachsbeobachtungen bei allzuweitgehender Kürze der Zonen ungenau werden. Nach sehr zahlreichen Messungen an Zonen von 5—1 Mill. Länge bin ich zu der Ueberzeugung gelangt, dass die Resultate die genügendsten sind, wenn man die Querzonen je 1 Mill. lang nimmt.

Wäre die Länge der wachsenden Region für jede Pflanzenspecies eine ganz constante, so würde es lohnen, genauere Bestimmungen dieser specifischen Constante vorzunehmen, was mit Hilfe einer Theilmaschine und eines stark vergrössernden Fernrohrs wohl möglich wäre, allein die Länge der wachsenden Region ist sehr inconstant bei den verschiedenen Individuen einer Species auch unter gleichen äusseren Bedingungen und ebenfalls variabel, wenn diese letzteren variiren. Kommt es also darauf an, die Länge der wachsenden Region mit irgend einer anderen Erscheinung, z. B. der Abwärtskrümmung (s. unten) zu vergleichen, so darf man nicht etwa jene als ein für alle Mal bekannt voraussetzen, sondern man muss sie in jedem einzelnen Falle direct bestimmen. Die individuellen Unterschiede der Länge der wachsenden Region bei gleichen äusseren Bedingungen mögen folgende Beispiele veranschaulichen: die grossen Buchstaben bezeichnen verschiedene Pflanzen derselben Art, aber von möglichst gleicher Beschaffenheit.

Pisum sativum.

In feuchter Luft, in demselben Cylinder; Wurzeln anfangs 15 Mill. lang; Temp. 18,7—20,5° C. Dauer 17 Stunden.

Länge der Querscheiben anfangs = 1 Mill.

	Zuwachse in Mill.				
Querscheiben	A	B	C	D	E
X	0	0	0	0	0
IX	0	0	0	0	0
VIII	0	0	0	0	0
VII	0,5	0	0	0	0
VI	0,8	0,5	0,5	0	0
V	1,3	0,5	1,5	0,2	0
IV	2,5	1,5	2,0	0,3	0,8
III	7,0	4,0	6,2	1,0	3,5
II	4,0	6,5	5,5	6,5	5,7
I	0,6	1,0	0,5	3,0	1,0

Nimmt man, der Bequemlichkeit des Ausdrucks wegen an, dass die hintere Grenze der wachsenden Region in der Mitte derjenigen Zone gelegen habe, welche den letzten Zuwachs zeigt, so ist die Länge der wachsenden Region

bei A = 6,5 Mill.
,, B = 5,5 ,,
,, C = 5,5 ,,
,, D = 4,5 ,,
,, E = 3,5 ,,

Quercus Robur.

Wurzeln in Wasser wachsend in demselben Cylinder, anfangs etwa 60 Mill. lang. Temp. 18—20° C.; Dauer 24 Stunden. Querscheiben anfangs = 2 Mill. lang.

	Zuwachse in Mill.		
Zone.	A	B	C
V	0,0	0,0	0,0
IV	0,0	0,5	0,2
III	0,8	1,5	1,2
II	4,0	5,5	6,0
I	4,0	3,0	1,5

Demnach war die Länge der wachsenden Region

bei A grösser als 4, kleiner als 6 Mill.
,, B ,, ,, 6 ,, ,, 8 ,,
,, C ,, ,, 6 ,, ,, 8 ,,

Vicia Faba.

Wurzeln in feuchter Luft in demselben Cylinder, anfangs etwa 20 Mill. lang; Temp. 18—21° C. Dauer 24 Stunden. Querscheiben je 1 Mill. lang.

	Zuwachse in Mill.	
Zone.	A	B
X	0,0	0,0
IX	0,0	0,0
VIII	0,0	0,4
VII	0,5	0,5
VI	0,5	1,0
V	1,5	2,5
IV	3,0	7,0
III	5,6	5,0
II	4,5	1,3
I	1,8	0,0

Die Länge der wachsenden Region war demnach, wenn man annimmt,

ihre Grenze habe bis in die Mitte des zuletzt wachsenden Stückes hinaufgereicht

bei A = 6,5 Mill.
,, B = 7,5 ,,

Ob bei Wurzeln gleicher Art aber von verschiedener Länge, also von verschiedenem Alter, die Länge der wachsenden Region verschieden ist, dürfte bei der grossen individuellen Verschiedenheit nur durch Messung sehr zahlreicher Individuen zu bestimmen sein; nach gelegentlichen aber häufigen Wahrnehmungen glaube ich indessen, dass diese Verschiedenheit nicht gross ist.

Der Einfluss verschiedener Medien, Luft, Wasser, Erde, auf die Länge des wachsenden Stückes kann mit Sicherheit ebenfalls nur durch Beobachtung sehr zahlreicher Individuen festgestellt werden. Die Zahl meiner direct darauf gerichteten Untersuchungen ist nicht gross, sie führen aber, zusammengehalten mit meinen sonstigen Erfahrungen, zu dem Ergebniss, dass die Länge der wachsenden Region in feuchter Luft (in den ersten 24 Stunden) meist kleiner ist als in Wasser und lockerer feuchter Erde. Bei Pisum ist sie in feuchter Luft gewöhnlich geringer als 8 Mill., in Wasser und Erde meist grösser als 9 Mill.; bei Faba in Luft meist geringer als 9 Mill., in Wasser und Erde oft grösser als 10 Mill.; bei der Eiche fand ich sie in feuchter Luft wiederholt kürzer als 6 Mill., in Wasser noch länger als 7 Mill.

Beispielsweise mag noch eine Beobachtung an Phaseolus hier stehen, obgleich nur je 1 Individuum beobachtet wurde. Die Pflanzen waren sehr gleicher Beschaffenheit.

Phaseolus multiflorus.

Temperatur des Wassers 20—20,7° C., der Luft 20—21,2° C. Dauer 15 Stunden; Länge der Querscheiben 1 Mill.

	Zuwachse in Mill.	
Zonen.	in Luft	in Wasser
X	0,0	0,0
IX	0,0	0,1
VIII	0,0	0,2
VII	0,0	0,3
VI	0,3	0,3
V	0,5	0,6
IV	1,0	1,2
III	1,4	1,4
II	3,5	2,2
I	2,3	1,0
Gesammtzuwachs	9,0	7,3

Die Länge der wachsenden Region war demnach in Luft circa 5,5 Mill. und Wasser circa 8,5 Mill.

Werden Fabawurzeln, die bereits einen Tag in feuchter Luft gewachsen sind, von neuem markirt, so findet man, dass die Länge der wachsenden Region am 2ten Tage sich verkleinert, indem zugleich der Gesammtzuwachs abnimmt.

§. 18. An den in feuchter Luft wachsenden Wurzeln, zumal denen von Faba, beobachtet man häufig schon nach 24 Stunden, gewöhnlich aber nach 2 Tagen eine Verkürzung derjenigen Querzonen, welche zuletzt aufgehört haben in die Länge zu wachsen, also unmittelbar über der hinteren Grenze der wachsenden Region liegen; diese Verkürzung ist aber sehr beträchtlich, da sie oft 0,1—0,05 Mill. auf einen Mill. Länge der Querzonen beträgt.

Diese Erscheinung stimmt mit der früher erwähnten Erschlaffung der in feuchter Luft (ohne öftere Benetzung) wachsenden Wurzeln und ich vermuthe die Ursache derselben darin, dass die jüngeren wachsenden Zellen den älteren, ausgewachsenen das Wasser rascher entziehen, als diese es aus den noch älteren Theilen zu ersetzen vermögen, so dass ihr Turgor sich mindert, also Verkürzung durch elastische Zusammenziehung der betreffenden Zellhäute eintritt, worin eben die Verkürzung besteht. Jedenfalls ist die Thatsache einer eingehenderen Untersuchung werth, da sie für die Mechanik des Wachsens neue Gesichtspunkte eröffnen könnte.

§. 19. Vertheilung des Wachsthums in der wachsenden Region. Dass die von der Spitze verschieden weit entfernten, also verschieden alten Querscheiben der Wurzel in derselben Zeit verschieden grosse Zuwachse erfahren, geht schon aus den Angaben Ohlert's und Wigand's (l. l. c. c.), wenn auch undeutlich hervor; viel bestimmter ist aus Hofmeister's Darstellung zu entnehmen (l. c.), dass die gleichzeitigen Zuwachse bis zu einiger Entfernung von der Wurzelspitze erst zunehmen, ein Maximum erreichen und weiter nach hinten wieder bis Null abnehmen. Dasselbe zeigen einige Zahlen von Frank (l. c. p. 35). Ausführlicher untersuchte Müller dieses Verhalten [1]), indem er Hauptwurzeln von Pisum, mit äquidistanten Marken versehen bei 20° C. nach 10—24 Stunden maass. Versteht man unter Partialzuwachsen die Verlängerungen der einzelnen hinter einander liegenden Querzonen, so gilt nach ihm der Satz: »Der Partialzuwachs wächst von der Spitze ab und erreicht 4—5 Mill. von dieser sein Maximum und wird Null in noch grösserer Entfernung von der Spitze«. Tafel V, Fig. 4 bot. Zeitung, 1869 stellte er dieses Verhalten graphisch dar, indem er die Partialzuwachse als Ordinaten auf ihren Entfernungen von der Wurzelspitze, welche die Abscissen darstellen, aufrichtete. Mehr als

1) Müller, Bot. Zeitung 1869, p. 387 und 1871 p. 727, 729.

aus dieser Curve der Partialzuwachse ist auch aus seiner Formel $\varepsilon = f(\lambda)$ nicht zu entnehmen, in welcher ε den Partialzuwachs und λ die Entfernung der Querscheibe von der Spitze bedeutet.[1]) — Auch CIESIELSKI hat (l. c. p. 11) die Curve der Partialzuwachse zu bestimmen gesucht, indem er die Wurzeln in 0,5 Mill. lange Querscheiben eintheilte; nach 20 Stunden des Wachsens in feuchter Luft, fand er die Entfernung des Maximalzuwachses von der Spitze aus

bei Pisum circa 4 Mill.
,, Vicia sativa circa 3,5 Mill.
,, Lens esculenta circa 3 Mill.

Bei der Bestimmung der Partialzuwachse begegnet man denselben Schwierigkeiten, wie bei der Aufsuchung der hinteren Grenze der wachsenden Region; hier aber hat man bei Beurtheilung der gewonnenen Zahlen noch manches Andere zu bedenken, was ebenfalls an einigen Beispielen erläutert werden soll.

Eine Wurzel von Faba war vom Vegetationspunkt aus in Zonen von je 1 Mill. Länge getheilt worden; sie zeigte nach 15 Stunden in Wasser von 20—21° C. folgende

Zonen	Partialzuwachse in Mill.
X	0,1
IX	0,2
VIII	0,3
VII	0,4
VI	0,6
V	1,0
IV	1,8
III	2,0
II	2,3
I	0,8

Gesammtzuwachs = 9,6 Mill.
Länge der wachsenden Region grösser als 9 Mill.

Die Tabelle zeigt, dass die Partialzuwachse von der ersten zur zweiten Zone steigen, dann fallen; unzweifelhaft ist diese Veränderung aber eine continuirliche und schon in der ersten Zone wird der Zuwachs, wenn wir sie uns z. B. in 10 kürzere zerlegt denken, nach hinten steigen, ebenso wird er in der dritten und jeder folgenden fallen. In der zweiten Zone, welche hier den Maximalzuwachs zeigt, darf man annehmen, dass wenn wir sie ebenfalls in 10 Theile getheilt hätten, die Zuwachse derselben, von vorn nach hinten erst zunehmen, an einer Stelle ein Maximum zeigen und weiter hinten wieder abnehmen würden. Die wahre Lage der Stelle, wo

1) Ein genaueres Studium der Arbeiten MÜLLER's zeigt überhaupt, wie dünn der mathematische Firniss ist, mit dem er seine Darstellung zu überziehen pflegt.

das Maximum des Wachsthums wirklich stattgefunden hat, ist also nur insoweit bekannt, als wir sagen können, sie liege innerhalb der zweiten Millimeterzone über der Spitze; die Zahl 2,3 Mill. ist nur die Summe der Zuwachse der einzelnen kurzen Querscheiben, aus denen diese Zone von 1 Mill. Länge besteht; das Letztere gilt auch von jeder anderen Zone. — Hätte man nun die Zonen gleich anfangs 2 Mill. lang gemacht und sie mit A, B . . . benannt, so hätte die Messung ergeben

Zone	Partialzuwachse
E	0,3 Mill.
D	0,7 ,,
C	1,6 ,,
B	3,8 ,,
A	3,1 ,,

In diesem Falle erscheint zwar zufällig der grösste Zuwachs auch wieder in der zweiten Zone, aber diese war nun 2 Mill. lang, und die wahre Lage des Maximums ist jetzt noch weniger genau bekannt als vorhin; wollten wir das Maximum in die Mitte dieser zweiten Zone verlegen, so würde uns die obige Tabelle zeigen, dass diess nicht richtig ist, denn es liegt in der hinteren Hälfte der Zone A, die sich aus den Zonen I und II (von vorhin) zusammensetzt. Wir hätten also hier einen beträchtlichen Fehler in der Bestimmung der Stelle, wo das Maximum der Zuwachse liegt, gemacht. Aehnliche Betrachtungen würden sich auch für die Beurtheilung der anderen Zonen C, D, E ergeben. Offenbar würde man die Curve der Partialzuwachse um so genauer erhalten, je kürzer die Querscheiben genommen würden; allein schon bei solchen von 0,5 Mill. würden die Messungsfehler den Vortheil aufheben und so ist es auch hier am gerathensten, sich mit dem Grade von Genauigkeit zu begnügen, den man bei 1 Mill. langen Querscheiben erhält.

Ein auch von früheren Beobachtern hervorgehobener Uebelstand liegt darin, dass die Farbenstriche auf der Wurzel durch das Wachsthum umsomehr auseinandergezogen werden, je näher sie dem Ort des Maximalzuwachses liegen und je beträchtlicher das Wachsthum überhaupt ist. Man ist daher bei der Messung genöthigt, willkürliche Grenzen innerhalb der verbreiterten Striche anzunehmen; ich habe mir nun angewöhnt, jedesmal vor der Messung einen neuen feinen schwarzen Strich in die Mitte der Marke einzutragen und diess bei wiederholten Messungen zu wiederholen. Uebrigens haben die aus dem genannten Verhalten hervorgehenden Ungenauigkeiten der Messung die eine gute Seite, dass sie um so geringer sind, je geringer der Zuwachs selbst ist, dass die Fehler also gerade an den Stellen klein sind, wo die Messung relativ genauer sein muss.

Wirft man nun die Frage auf, was denn eigentlich die Partialzuwachse, welche man nach beliebig gewählten Zeiträumen erhält, lehren? so zeigt sich, dass in jeder durch die Messung gewonnenen Zahl zweierlei ganz

verschiedene Dinge enthalten sein können; der Zuwachs, d. h. die gemessene Verlängerung einer Querscheibe hängt nämlich ab, nicht allein von der Geschwindigkeit des Wachsthums, sondern auch von dessen Dauer; hört eine Zone zu wachsen auf, bevor man die Messung vornimmt, so lehrt diese weder etwas über die Geschwindigkeit, noch über die Dauer des Wachsthums. Eine Zone hört aber um so früher zu wachsen auf, je weiter entfernt sie vom Vegetationspunkt liegt, und es leuchtet ein, dass man auch das Maximum der Zuwachse an verschiedenen Stellen finden muss, jenachdem man kürzere oder längere Zeit nach der Markirung bis zur Messung verstreichen lässt; je länger die Wurzel wächst, desto mehr rückt das Maximum von hinten her in die vorderen Zonen, welche man bezeichnet hat. Eine sehr grelle Beleuchtung findet das eben Gesagte in folgendem Beispiel.

Eine in feuchter Luft wachsende und oft benetzte Wurzel von Faba war in Zonen von je 1 Mill. getheilt; sie wurde täglich, je nach 24 Stunden gemessen; Temp. = 18—21° C. täglich. Ich stelle hier nur die Zuwachse so zusammen, wie sie sich aus den Messungen des 1sten, 2ten und 3ten Tages ergaben.

	Zuwachse in Mill.		
Zone	in 24 Stunden	in 2 × 24 Stunden	in 3 × 24 Stunden
X	0	0	0
IX	0	0	0
VIII	0	0	0
VII	0,4	0,4	0,4
VI	0,5	0,5	0,5
V	1,5	1,5	1,5
IV	3,0	3,0	3,0
III	5,6	6,6	6,6
II	4,5	15,0	17,0
I	1,8	5,0	23,0

Hier lag also nach 24 Stunden das Maximum der Zuwachse in der Zone III, nach 2 × 24 Stunden aber in der Zone II, nach 3 × 24 Stunden in der Zone I; die Zone III hatte nämlich schon vor der zweiten Messung, die Zone II erst vor der dritten Messung zu wachsen aufgehört, die Zone I aber wuchs noch nach dieser fort. Da nun die ursprünglich bezeichneten Zonen zwar gleich lang sind, aber verschiedenes Alter besitzen, so muss von der Spitze aus gezählt, jede folgende Zone, wenn man sie ganz auswachsen lässt um so kürzer bleiben, je weiter sie rückwärts liegt, denn je mehr diess der Fall, einem desto entwickelteren Theil der Wurzel gehört sie an, d. h. je weiter eine Zone zurückliegt, desto ausgewachsener sind die Zellen, desto weniger haben sie noch zu wachsen. Lässt man also nach der Markirung lange Zeit bis zur ersten Messung verstreichen, so lehrt diese nur, wie viel jedes Stück noch an Länge über-

haupt zunehmen konnte, nicht aber mit welcher Geschwindigkeit diess in den einzelnen Zonen geschieht. — Da in unserem Beispiel die Zonen IV, V, VI, VII schon von der ersten Messung ausgewachsen waren, so ist über ihre Wachsthumgeschwindigkeit aus der Messung nichts zu entnehmen, und weil diess der Fall ist, so lehrt diese auch nichts über die Stelle, wo das Wachsthum am ersten Tage am raschesten war, sondern nur dass in den ersten 24 Stunden die Zone III einen grösseren Zuwachs hatte als die folgenden; ob diess Folge ihrer grösseren Wachsthumsgeschwindigkeit oder ihrer längeren Wachsthumsdauer sei, bleibt bei unserem Beispiel ganz unbekannt.

Um also von der Dauer des Wachsens der einzelnen Zonen unabhängig zu werden und die Geschwindigkeit selbst vergleichen zu können, ist es nöthig möglichst kurze Zeit nach der Markirung bis zur ersten Messung verstreichen zu lassen, oder aber man muss das Wachsthum der ganzen Wurzel durch niedere Temperatur so verlangsamen, dass auch die älteren Zonen noch längere Zeit wachsen können; in beiden Fällen sind aber natürlich die Zuwachse gering und die Messungsfehler relativ gross; doch zeigen die Beobachtungen, dass je kürzer man die Zeit bis zur ersten Messung nimmt, desto mehr das Maximum der Zuwachse nach hinten rückt. Bezüglich der Vertheilung der Wachsthumsgeschwindigkeit lehrte unser letztes Beispiel nur soviel, dass sie von der Spitze bis zur IIIten Zone zunimmt, ob sie hinter dieser abnimmt, blieb ganz ungewiss, da man nicht wissen konnte, wie lange Zeit die Zonen IV, V, VI, VII gewachsen waren. Dieses Bedenken wird jedoch durch Messung in kürzeren Zeiträumen beseitigt; so z. B. durch folgende.

Pisum, Wurzel 4—5 Cm. lang,
Zonen 1 Mill. lang, 18—19° C.

	Zuwachse in Wasser nach 6 Stunden	in den späteren 18 Stunden
X	0,2 Mill.	0,0 Mill.
IX	0,2 ,,	0,1 ,,
VIII	0,3 ,,	0,1 ,,
VII	0,7 ,,	0,1 ,,
VI	0,8 ,,	0,2 ,,
V	1,0 ,,	0,4 ,,
IV	1,0 ,,	1,0 ,,
III	0,8 ,,	3,2 ,,
II	0,2 ,,	5,8 ,,
I	0,2 ,,	1,3 ,,

Hier lag also das Maximum der Zuwachse in den ersten 6 Stunden wahrscheinlich an der Grenze der vierten und fünften Zone; dass die Abnahme der Zuwachse in den folgenden Stücken nicht bloss von einem früheren Erlöschen des Wachsthums in ihnen herrührt, sondern durch lang-

sameres Wachsen verursacht ist, wird dadurch bewiesen, dass diese Zonen auch in den folgenden Stunden noch ein wenig gewachsen sind. Hätte man die erste Messung 24 Stunden nach der Markirung vorgenommen, so hätte man das Maximum der Zuwachse in der Zone II gefunden.

Noch deutlicher tritt die Abnahme der Geschwindigkeit des Wachsthums in den hinteren Querzonen in folgenden Messungen hervor:

Faba,
Wurzeln in Wasser wachsend, anfangs circa 2 Cm. lang;
Zonen anfangs 1 Mill. lang; Temp. = 18—19° C.
Zuwachse in Mill.

	in den ersten 6 Stunden	in den späteren 17 Stunden
X	0,0	0,0
IX	0,2	0,1
VIII	0,2	0,4
VII	0,3	0,4
VI	0,5	0,5
V	**0,8**	1,2
IV	**0,8**	3,2
III	0,5	5,5
II	0,3	**7,7**
I	0,0	1,0

Das Maximum lag in den ersten 6 Stunden wahrscheinlich an der Grenze der vierten und fünften Zone, die dahinter liegenden Zonen VI—IX sind auch später noch deutlich gewachsen, folglich ist die bei der ersten Messung constatirte Abnahme der Zuwachse durch Verminderung der Geschwindigkeit, nicht aber durch früheres Aufhören des Wachsthums bewirkt.

Faba, ebenso.
Zuwachse in Mill.

	in den ersten 6 Stunden	in den folgenden 17 Stunden
X	0,1	0,1
IX	0,1	0,2
VIII	0,5	0,3
VII	**1,0**	0,5
VI	**1,0**	1,5
V	0,5	2,5
IV	0,4	**4,1**
III	0,3	3,7
II	0,0	2,0
I	0,0	1,0

Hier lag das Maximum in den ersten 6 Stunden wahrscheinlich an der Grenze der sechsten und siebenten Zone; die Abnahme der Zuwachse in den folgenden Zonen ist nicht Folge ihres früheren Aufhörens, da sie

noch später fortwuchsen, sondern sie beweist, dass die Geschwindigkeit des Wachsens hinter der Zone VII abnimmt.

Hätte man die erste Messung nach 24 Stunden vorgenommen, so hätte man im vorletzten Fall das Maximum der Zuwachse in der Zone II, im letzten Fall in der Zone IV wahrgenommen.

Faba, ebenso behandelt.
Fünf Zonen je 2 Mill. lang; Wurzel in Wasser von 18° C.
Zuwachse in Mill.

Zone	in den ersten 6 Stunden	in den folgenden 18 Stunden
V	0,2	0,3
IV	0,8	0,7
III	**1,0**	2,5
II	0,7	**4,3**
I	0,3	3,3

Faba, ebenso.

Zone	in den ersten 6 Stunden	in den folgenden 18 Stunden
V	0,8	0,5
IV	0,8	0,7
III	**1,2**	2,2
II	1,0	**3,5**
I	0,0	3,0

Für die hier zwei Mill. langen Zonen gelten dieselben Betrachtungen wie vorhin.

Zea Mais,
Wurzel anfangs 20 Mill. lang, in Wasser von 22° C. wachsend;
Zonen 1 Mill. lang.
Zuwachse in Mill.

Zone	nach 6 Stunden	in den späteren 17 Stunden
X	0	0
IX	0	0
VIII	0	0
VII	0,2	0
VI	0,3	0
V	0,8	0
IV	2,0	0,3
III	**2,2**	3,8
II	0,8	**16,7**
I	0,0	1,0

Ein zweites Exemplar verhielt sich ebenso; hier waren schon 6 Stunden nach der Markirung bei hoher Temperatur die Zonen V, VI, VII ganz ausgewachsen, Zone IV wuchs in den folgenden 17 Stunden noch um 0,3 Mill.; sie war also bei der ersten Messung noch nicht ausgewachsen, demnach war sie langsamer gewachsen als die Zone III.

Im Vorstehenden wurden die Bedingungen genannt, unter denen aus den gleichzeitigen Partialzuwachsen verschieden alter Querzonen die Folgerung zu ziehen ist, dass die Geschwindigkeit des Wachsens, hinter der Stelle, wo sie ihr Maximum erreicht hat, wieder abnimmt und bis Null sinkt. Nennt man v_1, v_2, . . . die Wachsthumsgeschwindigkeiten der Zonen I, II . . . , so lässt sich dieser Satz ausdrücken durch das Schema:

$$\begin{array}{cccccccc} I & II & III & IV & V & VI & VII & VIII \\ v_1 < & v_2 < & v_3 < & v_4 > & v_5 > & v_6 > & v_7 > & \text{Null.} \end{array}$$

Vergleicht man nun die Zuwachse einer und derselben Querzone in aufeinanderfolgenden gleichen Zeiten, so findet man ebenfalls, und mit grösserer Sicherheit, dass die Geschwindigkeit erst zunimmt, ein Maximum erreicht und wieder abnimmt, bis sie endlich auf Null sinkt. — Die zur Beobachtung zu wählende Querscheibe muss natürlich sehr jung sein; an älteren, von der Spitze um einige Millimeter entfernten Querscheiben würde man nur noch das Abnehmen, aber nicht mehr die anfängliche Zunahme der Wachsthumsgeschwindigkeit beobachten; sie darf aber auch nicht den Vegetationspunkt selbst einschliessen, da hier das Wachsthum, so lange die Wurzel sich überhaupt verlängert, so zu sagen immerfort von neuem anfängt. — Bei Beobachtungen dieser Art kommt es vor Allem darauf an, die Temperatur in den aufeinanderfolgenden Zeiten constant zu erhalten oder doch nur solche Versuche als maassgebend zu betrachten, wo bei steigender Temperatur (unter dem Optimum) die Zuwachse fallen und umgekehrt. Dieser Forderung wurde in den folgenden Versuchen sorgfältig Rechnung getragen.

Faba; Wurzel in Wasser.

Die beobachtete anfangs 1 Mill. lange Querscheibe hatte ihre vordere Grenze 1 Mill. über den Vegetationspunkt:

Zuwachse in je 24 Stunden.

1. Tag	2. Tag	3. Tag	4. Tag
5,8 Mill.	13,2 Mill.	6,5 Mill.	0,0 Mill.
tägliche Mitteltemperatur des Wassers			
20,5° C.	20,7° C.	21,0° C.	21,1° C.

Faba; Wurzeln in feuchter Luft

oft befeuchtet; die Querscheiben anfangs 1 Mill. lang.

Erstes Beispiel: die beobachtete Querscheibe war anfangs, 0,5 Mill. vom Vegetationspunkt entfernt.

Zuwachse in Mill. binnen je 24 Stunden.

1. Tag	2. Tag	3. Tag	4. Tag.	5. Tag	6. Tag
1,3	5,7	12,5	10,5	9,0	0,0

Zweites Beispiel, zwei anfangs je 1 Mill. lange Querzonen beobachtet, deren vordere vom Vegetationspunkt um 1 Mill. entfernt war.

Zuwachse in Mill. in je 24 Stunden.

Zone	1. Tag	2. Tag.	3. Tag.	4. Tag.
II	3,9	5,9	0,5	0
I	0,9	9,4	6,0	0

Drittes Beispiel, ebenso.

Zone	1. Tag	2. Tag	3. Tag	4. Tag
II	4,0	8,8	0	
I	0,7	9,7	11,3	0,5

Viertes Beispiel, ebenso.

II	2,4	9,0	0,6	0,2
I	0,3	3,3	9,5	4,0

Der Einwand, dass die Messung bei dieser Methode die Zuwachse ungleichlanger Stücke betrifft, indem sich eben die gemessene Querzone verlängert, trifft unseren Folgepunkt nicht; eben deshalb weil die Zuwachse mit steigender Länge der Zone anfangs zwar zunehmen, aber mit noch mehr steigender Länge doch wieder abnehmen; die Verschiedenheit der Zuwachse ist also nicht eine Function der Länge, sondern des Alters, d. h. des verschiedenen Entwickelungszustandes der Querzone; sehr deutlich tritt diess in folgendem Schema hervor, wo l_1, l_2, l_3 . . . die successiven Längen derselben Zone, v_1, v_2 . . . ihre Zuwache an den successiven Tagen T_1, T_2 . . . bedeutet:

für $T_1 \quad T_2 \quad T_3 \quad T_4 \quad T_5 \quad T_6$

ist $l_1 < l_2 < l_3 < l_4 < l_5 = l_6$

aber $v_1 < v_2 < v_3 > v_4 > v_5 >$ Null.

Die hier über den Wachsthums-Modus der Hauptwurzeln angestellten Betrachtungen gelten nun auch in den wesentlichen Punkten für ganze Stengel und im Besonderen für einzelne gestreckte Internodien, welche an ihrem oberen oder unteren Ende eine intercalare Bildungszone besitzen, wie das epicotyle Internodium von Phaseolus multiflorus, dessen Wachsthumsmodus aus der Tabelle auf p. 128 (unseres 2. Heftes) ersichtlich ist. Doch geht MÜLLER[1]) viel zu weit, wenn er sagt, »dass zwischen der Wachsthumsweise des Stammes und derjenigen der Wurzel kein Unterschied besteht«. Ein immerhin bedeutungsvoller Unterschied liegt darin, dass die Länge der wachsenden Region bei den Stengeln und Internodien gewöhnlich eine sehr beträchtliche, mehrere bis viele Centimeter umfassende ist, während sie bei der Wurzel selten 10 Mill. erreicht.[2]) Als nächste Ursache dieser Verschiedenheit habe ich bereits in meiner vorläufigen Mittheilung[3]) angegeben, dass jede Querscheibe der Wurzel ihre Wachsthums-

---

1) MÜLLER, Bot. Zeitung 1870 p. 727.

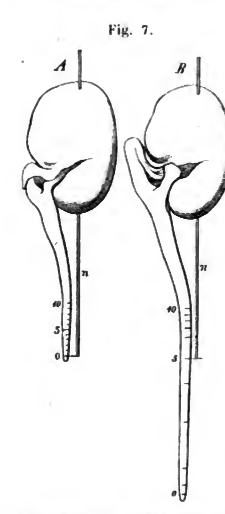
2) Ich werde jedoch später zeigen, dass bei Luftwurzeln zuweilen die wachsende Region viel länger ist.

3) Phys. medic. Gesellsch. in Würzburg. 16. März 1871.

curve rascher und in steilerem Bogen durchläuft; auch hob ich hervor, dass es wahrscheinlich diese Wahrnehmung sein dürfte, die Müller[1]) in dem an sich unrichtigen Satze: die »Wurzel wächst rascher wie der Stamm« ausdrücken wollte.

§. 20. Die wachsenden Theile werden vorwärts gestossen. Ist die Wurzelbasis fixirt, die Spitze frei, so muss die durch Intussusception bewirkte Verlängerung der wachsenden Region mit einer nach vorn gerichteten translatorischen Bewegung verbunden sein, derart, dass jeder weiter vorn liegende Querschnitt sich rascher bewegt, als jeder hinter ihm liegende. Ist in Fig. 7 *A* die Wurzel vom Vegetationspunkt aus in 10 Zonen von 1 Mill. Länge getheilt und die umgebogene Spitze der Nadel *n* mit der Marke 0 auf gleiches Niveau gebracht, so findet man schon nach wenigen Stunden die Marke 1 und 2, später auch 3 und 4 an dem Index vorbeigewandert; *B* zeigt die Wurzel nach 22 Stunden (21° C. in Wasser), wo bereits die Marke 5 an der Stelle liegt, die anfangs von der Marke 0 eingenommen wurde; die Fig. *B* zeigt auch, dass die Marken 6 bis 9 sich dem Index genähert haben, abwärts gestossen worden sind, diese Bewegung setzte sich auch später noch fort, denn nach 24 Stunden stand die Marke 5 um 1 Mill. unter dem Zeiger.

Fig. 7.



Keimpflanze von Faba, das Vorbeirücken der Marken der wachsenden Region der Wurzel an der festen Spitze der Nadel *n* zeigend.

Die Vergleichung der Lage der Marken von *A* und *B* lässt sofort erkennen, dass Nr. 0 am raschesten gewandert, am tiefsten hinabgestossen worden ist, und dass die zurückgelegte Wegstrecke um so geringer ist, je näher eine Marke am hinteren Ende der wachsenden Region liegt. Es leuchtet ein, dass die Marke 9 um soviel vorwärts gestossen wird, als der Zuwachs der Querzone X beträgt, dass die Marke 8 aber einen Weg zurücklegt, der der Summe der Zuwachse von X und IX gleich ist u. s. w.; dass endlich die Marke 0 um die ganze Länge vorwärts gestossen wird, die aus allen Partialzuwachsen resultirt. Für den durch *B* repräsentirten Zustand zeigte nun die Messung Folgendes:

1) Müller, Bot. Zeitung 1870, p. 840.

Zone.	Zuwachs in Mill.	Marke Nr.	ist vorwärts gest. um Mill.:
X	0,2	9	0,2
IX	0,6	8	0,8
VIII	0,7	7	1,5
VII	0,8	6	2,3
VI	2,0	5	4,3
V	3,5	4	7,8
IV	6,5	3	14,3
III	8,0	2	22,3
II	2,5	1	24,8
I	1,0	0	25,8
Summe der Zuw.	25,8		

Bei ganz gleicher Behandlung ergab sich für eine Erbsenwurzel:

Zone.	Zuwachs in Mill.	Marke No.	wurde verschoben um Mill.:
X	0	9	0
IX	0	8	0
VIII	0	7	0
VII	0,3	6	0,3
VI	0,5	5	0,8
V	1,5	4	2,3
IV	3,0	3	5,3
III	5,5	2	10,8
II	4,5	1	15,3
I	0,5	0	15,8
Summe	15,8		

Ganz ebenso verhalten sich die Wurzeln in Erde; um es zu beobachten, steckte ich Keimpflanzen von Faba an die Glaswand des Kastens Fig. 1 *B*, so dass die Markirung zu sehen war, dann wurde ein Papierindex so auf die Glaswand geklebt, dass seine Spitze auf die Marke 0 zeigte, während ein anderer die Lage des obersten Theilstrichs bezeichnete, um zu sehen, ob diese Stelle unbeweglich sei.

	Ursprüngliche Länge der Zonen
VI	10 Mill.
V	2 ,,
IV	2 ,,
III	2 ,,
II	2 ,,
I	2 ,,

Nach 16 Stunden ergab sich:

Zone.	Zuwachs in Mill.	Marke No.	ist gewandert um Mill. :
VI	0,5	5	0,5
V	1,5	4	2,0
IV	2,0	3	4,0
III	3,5	2	7,5
II	6,0	1	13,5
I	4,0	0	17,5
Summe	17,5		

Bei dieser Bewegung ist jeder Querschnitt zugleich passiv, indem er von den hinter ihm liegenden gestossen wird, aber auch zugleich activ, indem er die vor ihm liegenden stossen hilft. Der Effect dieses Vorganges, wenn der Vorgang selbst auch verschieden ist, kann verglichen werden mit dem Vordringen der Spitze eines Nagels, den man in ein Brett hineinhämmert; wie die Nagelspitze die Fasern des Brettes auseinander drängt und sich selbst zwischen diese hineinschiebt, so drängt die Wurzelspitze die Körnchen der Erde auseinander, schiebt sie bei Seite und dringt so mit Gewalt vor; ein Vorgang, der sich hinter einer Glaswand beobachten lässt; ein blosses Hinabsinken der Wurzelspitzen in die Lücken des Bodens, wie man nach der Knight-Hofmeister'schen Theorie [1]) annehmen musste, findet nicht statt, was übrigens auch aus dem Eindringen der Wurzelspitze in Quecksilber (s. unten) folgt.

Die Grösse der Kraft, mit welcher die Wurzelspitze vorwärts gestossen wird, zu bestimmen, scheint kaum möglich. Offenbar resultirt diese Kraft unmittelbar aus dem Vorgang des Wachsthums durch Intussusception selbst; sie ist an jedem im Wachsen begriffenen Punkte thätig; die Moleküle müssen auseinander gedrängt, ihre Cohäsion also überwunden werden, damit neue zwischen ihnen sich einlagern können; man könnte diess die innere Arbeit des Wachsthums nennen; die Gewalt jedoch, mit welcher dieses Auseinanderschieben der Moleküle geschieht, ergiebt noch einen Ueberschuss, der dazu verwendet wird, die umliegenden Theile, auch wenn diese auf Widerstand treffen, vorwärts zu schieben, was man die äussere Arbeit des Wachsthums nennen könnte. Bestimmt man nun, ein wie grosses Gewicht eine wachsende Wurzelspitze auf eine bestimmte Höhe in gegebener Zeit zu haben vermag, so misst man also im besten Falle nur die äussere Arbeit des Wachsthums; über die innere wird dadurch gar nichts ausgesagt. [2]) Aber auch diese äussere Arbeit zu messen ist bisher nicht gelungen. Lässt man nämlich die senkrecht abwärts wachsende Wurzel ein Gewicht heben, so wächst sie dabei grade fort, wenn dieses leicht ist, wird aber der Widerstand grösser, so biegt sich die Wurzel und es treten Abnormitäten ein. Mir gelang es wiederholt, durch eine Wurzel von Faba,

1) Vergl. Hofmeister, Botan. Zeitung 1869 p. 33.

2) Vergl. Müller, Botan. Zeitung 1871 p. 729, ff., wo die innere Arbeit des Wachsthums nicht berücksichtigt ist.

die in feuchter Luft mit senkrechter Spitze auf eine hohle (etwas Wasser enthaltende) Wachsplatte traf, ein Uebergewicht von 1 Gramm über eine Rolle ziehen zu lassen, ohne dass Biegung eintrat. War das zu hebende Gewicht grösser, so bogen sich die Wurzeln sehr stark. Ein derartiger Versuch beweist also die Biegsamkeit der Wurzel und dass die äussere Arbeit des Wachsens immerhin eine beträchtliche ist; sie kann aber viel beträchtlicher sein, gerade so wie die Gewalt, womit ein zwischen Widerlagen eingeklemmter Eisenstab durch Erwärmung sich ausdehnt, viel grösser sein kann als seine Biegungsfestigkeit, indem er sich durch die Ausdehnung zwischen seinen Widerlagen biegt. — Lässt man Wurzeln dagegen in feuchten Modellirthon senkrecht hinabwachsen, so können die Biegungen vermieden werden, allein die Athmung der Wurzel leidet in dem dichten Medium[1]), diese wächst langsamer und der Widerstand, den sie überwindet, ist nicht genau zu bestimmen. Selbst das Eindringen der senkrecht wachsenden Wurzel in Quecksilber gewährt die gewünschte Einsicht nicht; die grösste geleistete äussere Arbeit wäre nämlich proportional dem hydrostatischen Druck an derjenigen tiefsten Stelle, bis zu welcher die Wurzelspitze in Quecksilber ohne Biegung eindringt; allein diese Tiefe ist kaum zu bestimmen, denn die Wurzel, anfangs gerade, krümmt sich, wenn sie 2—3 Cm. Tiefe erreicht, und stirbt dann gewöhnlich ab, vorwiegend wohl in Folge des Luftmangels. Doch ist das Wachsen in Quecksilber wenigstens insofern lehrreich, als es zeigt, dass die äussere Arbeit, welche das Wachsen zu leisten im Stande ist, sehr beträchtlich sein muss, da die Geschwindigkeit des Wachsens durch den Gegendruck des Quecksilbers nicht merklich verändert wird, denn offenbar muss die bewegende Kraft um so grösser sein, ein je grösserer Widerstand ohne merkliche Störung der Bewegung überwunden wird.

Ich habe 9 Versuche derart angestellt, dass jedesmal eine gleiche Anzahl möglichst gleicher Keimpflanzen von Faba in zwei Glascylindern so befestigt wurden, dass, die Wurzeln der einen in Wasser, die der anderen in Quecksilber[2]) hinabwachsen mussten; das letztere war mit dünner Wasserschicht bedeckt; bei beiden tauchte die Wurzelspitze anfangs nur 1—2 Mill. in das Wasser, resp. das Quecksilber. Die folgenden Zuwachsgrössen, die meist in 24 Stunden erreicht wurden, sind die Mittelzahlen aus den in jedem Cylinder wachsenden Wurzeln, deren Zahl in der letzten Columne genannt ist.[3])

---

1) Was MÜLLER, Bot. Zeitung 1871 p. 714, übersehen hat.

2) Das Quecksilber wird zu derartigen Zwecken am besten durch wiederholtes heftiges Schütteln mit Wasser, bis dieses ganz klar bleibt, gereinigt.

3) Da gegenwärtig Niemand das Eindringen senkrecht abwärts gerichteter Wurzeln in Quecksilber leugnet, so wäre es überflüssig, die oft genannte Literatur darüber nochmals zusammenzustellen. Aus den Angaben von PINOT, MULDER und PAYER ist ohnehin wenig Sicheres zu entnehmen; viel besser sind die Versuche von SPESCHENEFF, Botan. Zeitung 1870, p. 65 ff.

Nummer des Versuches.	Zuwachs in Mill. in Mittel für eine Wurzel Wasser	Quecksilber	Gleiche Zahl der Wurzeln in Wasser und Quecksilber.
1	36,0	39,7	3
2	20,0	20,2	4
3	16,8	17,5	4
4	19,5	15,5	4
5	16,0	12,5	2
6	15,5	21,8	4
7	19,0	16,5	4
8	16,5	24,5	2
9	15,2	11,9	6
Allgemeines Mittel	19,4	20,0	aus je 33 Wurzeln.

Bei den einzelnen Versuchen ist, wie man sieht, das Wachsthum bald im Quecksilber, bald im Wasser etwas schneller, wie nach den individuellen Verschiedenheiten, die bei so geringer Individuenzahl noch nicht ausgeglichen sind, zu erwarten steht; nimmt man aber das Mittel aus allen Versuchen, so ist die Geschwindigkeit in Quecksilber noch etwas grösser als in Wasser, auch das ist offenbar noch Folge der nicht ausgeglichenen individuellen Verschiedenheiten, zeigt aber jedenfalls, dass die durch den Quecksilberdruck etwa bewirkte Verlangsamung des Wachsthums eine nur unbeträchtliche, die Grösse der Kraft, womit die Wurzel vordringt, also eine sehr bedeutende sein muss.

Wachsthum gekappter und gespaltener Wurzeln.

§. 21. Wachsthum nach Wegnahme der Wurzelspitze. In Ciesielski's mehrfach citirter Arbeit findet sich p. 29 die Angabe, dass Wurzeln von Pisum, Lens, Vicia sativa, denen man den Vegetationspunkt weggeschnitten hat, sich weiter entwickeln, indem die hinter dem Schnitt liegenden Theile sich ausbilden, dass aber solche Wurzeln von der Schwere nicht mehr beeinflusst werden und sich nicht abwärts krümmen.[1])

Bei häufiger Wiederholung dieses Versuchs mit Fabawurzeln, denen ich die Spitze 1,0 bis 0,5 Mill. über dem Vegetationspunkt wegschnitt und die ich dann in feuchter Luft, Wasser oder Erde weiter wachsen liess, trat zunächst die Erscheinung hervor, dass die gekappten Wurzeln auffallend starke Nutationen machen, indem sie innerhalb der wachsenden

1) Ciesielski machte hierbei auch die interessante Entdeckung, dass solche gekappte Wurzeln später oft einen neuen Vegetationspunkt bilden; auch ich habe diess gesehen, und Dr. Prantl ist mit einer genaueren Untersuchung über die Art, wie die neue Spitze sich bildet, beschäftigt. Ich fand auch, dass an einer in Wasser kräftig fortwachsenden Längshälfte einer Wurzel der Vegetationspunkt sich ergänzte, und nun mit allseitiger Rindenbildung fortwuchs.

Region kräftige Krümmungen erfahren, deren Krümmungsradius nicht selten nur einige Millimeter beträgt, während der Bogen einen Halbkreis erreicht, so dass bei senkrecht abwärts hängenden Wurzeln die Schnittfläche am Spitzenende aufwärts gerichtet wird. Diese Nutation erfolgt mit so grosser Kraft, dass sehr häufig bei horizontalen, selbst in feuchter Erde liegenden Wurzeln, der Einfluss der Gravitation auf das Wachsthum überwogen wird, so dass unregelmässige Krümmungen seitwärts und aufwärts zu Stande kommen, aber grade diese, von Ciesielski wie es scheint übersehenen, Nutationen, welche die Operation hervorruft, erschweren die Beantwortung der Frage, ob gekappte Wurzeln wirklich auf den Einfluss der Gravitation nicht mehr reagiren, wie er behauptet.[1]) Ich kann jedoch anführen, dass gekappte und horizontal gelegte Wurzeln, zumal in feuchter Erde, (wo die Abwärtskrümmung gesunder Wurzeln am entschiedensten eintritt) häufiger abwärts als aufwärts sich krümmen, und dass die Abwärtskrümmung oft energischer ist als die durch Nutation in anderem Sinne hervorgebrachten Krümmungen. Ich glaube die Gesammtheit der Erscheinungen daher so deuten zu müssen, dass bei gekappten Wurzeln der Einfluss der Gravitation, der wirklich noch vorhanden ist, durch die Nutation nur verdeckt und oft unkenntlich gemacht wird. Da, wie ich sogleich zeigen werde, das Wachsthum der hinter dem Schnitt liegenden Querzonen nicht beeinträchtigt ist, und da die geotropische Krümmung durch den Einfluss der Schwere auf alle hinter der Spitze liegenden wachsenden Querzonen hervorgerufen wird, so ist auch nicht einzusehen, durch welchen geheimen Einfluss die Wegnahme des Vegetationspunkts einen Vorgang hindern sollte, der gar nicht in ihm, sondern in älteren Querzonen des Gewebes stattfindet.

Abgesehen von den Nutationen verläuft das Wachsthum der gekappten Wurzeln ganz ebenso, wie wenn der Vegetationspunkt noch vorhanden wäre; jede Querzone, auch die dem Schnitt nächste, vollendet ihr Wachsthum nach demselben Gesetz, und die Partialzuwachse zeigen von vorn nach hinten verglichen dieselbe Zu- und Abnahme wie in einer unverletzten Wurzel.

Zur Veranschaulichung mag ein Beispiel genügen. Zwei Fabakeime mit circa 20 Mill. langer, senkrecht hinabhängender Wurzel wuchsen, häufig benetzt, in feuchter Luft neben einander in demselben Recipienten (18 bis 20° C.); 0,5 Mill. über dem Vegetationspunkt war der einen die Spitze weggeschnitten; beide waren von dieser Stelle aus in Zonen von je 1 Mill. Länge markirt.

1) Schon Hartig (Botan. Zeitung 1866 p. 53) giebt an: »Schneidet man von aufgerichteten Wurzeln die Spitze ab, dann tritt eine Beugung gar nicht ein«; doch sagt er Nichts über die Länge des abgeschnittenen Stückes.

Zuwachse in den ersten 24 Stunden.

Zonen	Wurzel mit Spitze	ohne Spitze
X	0,5 Mill.	0,2 Mill.
IX	0,6 ,,	0,3 ,,
VIII	0,7 ,,	0,5 ,,
VII	1,0 ,,	1,3 ,,
VI	1,2 ,,	2,0 ,,
V	2,5 ,,	3,2 ,,
IV	4,6 ,,	4,2 ,,
III	5,0 ,,	5,0 ,,
II	3,0 ,,	2,5 ,,
I	1,0 ,,	0,5 ,,
Summe der Partialzuwachse	20,1 Mill.	19,7 Mill.

Die nach je 24 Stunden wiederholte Messung der Zone I ergab die Zuwachse

	am 1. Tag	2. Tag	3. Tag	4. Tag
mit Spitze	0,9 Mill.	4,2 Mill.	6,0 Mill.	14 Mill.
ohne Spitze	0,5 ,,	2,5 ,,	10,0 ,,	12 ,,

Für Zone II ebenso:

mit Spitze	3 ,,	13 ,,	0,0 ,,	0 ,,
ohne Spitze	2,5 ,,	12,2 ,,	0,5 ,,	0 ,,

Die Unterschiede im Gang des Wachsthums beider Wurzeln sind nicht grösser als sie sonst bei Vergleichung zweier Wurzeln gleicher Keimpflanzen auftreten, sie sind nicht durch die Operation sondern durch die Individualität bedingt.

Wenn aus Ciesielski's Mittheilung zu schliessen war, dass der Vegetationspunkt der Wurzel zwar keinen Einfluss auf das Wachsen, aber doch einen solchen auf die Abwärtskrümmung ausübt (zwei Sätze, die einander eigentlich widersprechen), so komme ich vielmehr zu dem Schluss, dass das Abschneiden des Vegetationspunkts, indem es Nutationen bewirkt, die Abwärtskrümmung nur stört und daher bei Versuchen über die Letztere als Fehlerquelle ebenso zu vermeiden ist, wie die Anwendung von Wurzeln, deren Spitze irgendwie abgestorben ist.

§. 22. Das Wachsen gespaltener Wurzeln. Werden frische, sehr turgescente Wurzeln durch einen halbirenden Längsschnitt bis auf 2—3 Cm. hinter der Spitze gespalten, so treten die beiden Längshälften nicht selten unter sehr spitzem Winkel auseinander, indem sich die ausgewachsenen Theile ein wenig nach aussen krümmen; sehr häufig tritt dieses Klaffen jedoch nicht ein, die beiden Hälften bleiben grade neben einander liegen.[1]) Zuweilen kommt es vor, dass sich die in lebhaftem

1) Dutrochet mém. I p. 15, 16 behauptet mit Unrecht das Gegentheil; Frank's Angaben für Pisum (dessen Beiträge p. 16, 17) sind dagegen in der Hauptsache richtig.

Wachsen begriffenen Spitzentheile beider Hälften ein wenig nach innen krümmen, so dass die Schnittflächen concav werden. Deutlicher ist es zu sehen, wenn man eine ganz grade Wurzel von Faba nur auf 5—6 Mill. Länge von der Spitze aus spaltet und die eine Hälfte ganz wegnimmt; die andere von dem Gegendruck jener befreit, biegt sich nun deutlicher einwärts; die Krümmung an einem so kurzen Stück ist als solche nicht leicht zu erkennen; hält man jedoch die grade Wurzel senkrecht vor sich hin und denkt man sich die Wachsthumsaxe als verticale Linie verlängert, so bemerkt man, dass die Schnittfläche der übriggebliebenen Hälfte diese Linie schneidet. Zuweilen treten jedoch auch kräftigere Krümmungen mit der Schnittfläche concav an den Längshälften innerhalb der wachsenden Region auf, sowohl bei der Hauptwurzel von Faba, wie bei sehr rasch wachsenden Luftwurzeln von Aroideen.

Werden nun Wurzeln vor dem Spalten in gewohnter Weise markirt, dann vertical mit der Spitze abwärts in feuchter Luft, in Wasser oder in feuchter sehr lockerer Erde sich selbst überlassen, so beobachtet man folgende Erscheinungen, auch dann wenn die Wurzeln sich in der feuchten Luft eines sehr langsam um horizontale Axe rotirenden Recipienten sich befinden, wo also geotropische Krümmungen ausgeschlossen sind.

Nach einigen Stunden krümmen sich die beiden Längshälften innerhalb der wachsenden Region einwärts, die Schnittflächen nehmen die Concavität, die Rinde wird convex; oft stemmen sie sich dabei gegeneinander bis eine Hälfte neben der anderen vorbeigleitet und beide sich nun ungehindert weiter krümmen (Fig. 8 Faba *E*, *D*, *A*); ganz ebenso verhalten sich gekappte und gespaltene Wurzeln (*C*); war die eine Längshälfte weggenommen, so krümmt sich die andere ungehindert (*B*). Zuweilen kommt durch eine Torsion die Schnittfläche der einen Längshälfte mit der anderen in der Gegend des stärksten Zuwachses in Berührung und, wie es scheint in Folge des Druckes, umschlingt sie diese nun in einer, selbst in zwei eng anliegenden Windungen. An dem Auseinanderrücken der Marken erkennt man, dass die Krümmung immer nur innerhalb der wachsenden Region erfolgt und dass sie an den Orten des stärksten Zuwachses den kleinsten Krümmungsradius besitzt (Fig. 8 *B*, *C*), der oft selbst bei dicken Wurzeln nur 2—3 Mill. beträgt; die Spitzen werden oft durch die Krümmung der älteren wachsenden Theile ganz zurückgebogen

Fig. 8.

A B C D E F

Gespaltene Fabawurzel in normaler Stellung wachsend.

(*C*, *D*) und bei den dünneren Wurzeln der Erbsen bildet nach 20 Stunden eine Hälfte (nach Wegnahme der anderen) oft einen vollen Kreis, von 1—3 Mill. Durchmesser.

In Folge der Spaltung ist das Wachsthum jeder Längshälfte merklich verlangsamt, die einzelnen Querzonen folgen aber der oben beschriebenen Regel, wie schon aus Fig. 8 *B*, *C* zu erkennen ist. Hat man durch den Längsschnitt ungleiche Hälften hervorgebracht, so wächst immer die dickere Hälfte am stärksten, also diejenige, welche einen grösseren Theil des axilen Stranges enthält. Macht man in der wachsenden Region solche longitudinale Einschnitte, dass zwei seitliche, bloss aus Rindenparenchym bestehende Lappen von einer mittleren Lamelle abgelöst werden, welche den ganzen axilen Strang und zwei Rindestreifen besitzt, so wächst diese Mittellamelle allein und zwar sehr kräftig weiter, während die Rindenlappen gar nicht wachsen (Fig. 8 *F*).

Frank, der die Einwärtskrümmungen gespaltener, in Wasser liegender Wurzeln von Pisum, Phaseolus multiflorus, Linum usitatissimum, Tropaeolum majus beobachtete, sagt (l. c. p. 17), dass bei anderen Pflanzen wie Zea Mais, Phragmites communis, Sium latifolium, Alisma Plantago die Erscheinung nicht auftritt; für Zea Mais habe ich mich jedoch davon überzeugt, dass die Längshälften sich ganz wie bei Pisum verhalten; dicke Luftwurzeln von Aroideen krümmen sich [1]) mit ihren Spaltflächen in Wasser ebenfalls einwärts, besonders deutlich wenn sie durch zwei sich kreuzende Längsschnitte in 4 Theile gespalten sind, und ich zweifle nicht, dass alle Wurzeln, wie die oben beschriebenen sich verhalten.

Aus meinen zahlreichen Beobachtungen an gespaltenen Wurzeln folgere ich nun zweierlei, nämlich:

a. dass die Rindenzellen der Wurzeln überhaupt nur dann wachsen, wenn ihnen vom axilen Strang aus Nahrungsstoff zugeführt wird, der in radialer Richtung das Gewebe durchsetzt; würden alle zum Wachsthum der Rindenzellen nöthigen Stoffe denselben in der Längsrichtung von hinten her durch ältere Rindenzellen zugeführt, so wäre nicht einzusehen, warum vorn abgetrennte, hinten festhängende Rindelappen nicht wachsen. Denkt man sich also die wachsende Region in Querscheiben zerlegt, so wächst die Rinde einer jeden solchen von den Stoffen, die sie aus dem Theil des axilen Strangs derselben Querscheibe bezieht. Dass die Zellen des Stranges selbst aber die Nährstoffe von hinten her und schliesslich aus den Cotyledonen, herbeileiten, folgt nicht nur aus der Gesammtheit der Keimungsvorgänge, sondern auch daraus, dass hinten unterhalb der Cotyledonen abgeschnittene Wurzeln nur äusserst wenig wachsen, wie bereits Frank (Bot. Zeitung 1868 p. 564) angiebt und wovon ich mich selbst überzeugte.

1) Hier ist der Krümmungsradius grösser, (die Krümmung also nicht so augenfällig) weil die Wurzeln dicker sind und ihr Zuwachs an einzelnen Querscheiben geringer, dafür aber auf eine grössere Länge vertheilt ist.

b. Wird nun die Rinde durch den axilen Strang ernährt, so wächst sie schneller in die Länge als dieser, wie aus der Krümmung einer wachsenden Längshälfte ohne Weiteres folgt; aus dieser Thatsache sowohl, wie aus der nicht selten unmittelbar nach der Spaltung eintretenden Einwärtskrümmung folgt aber, dass in der wachsenden Region der Wurzel eine wenn auch geringe Spannung zwischen Rinde und axilem Strang besteht, indem der Letztere durch das rascher wachsende Rindenparenchym gedehnt wird, also negativ gespannt ist, wenn man die Spannung der Rinde positiv nennt. Man hat in neuerer Zeit das Vorhandensein dieser Spannung, für welche Dutrochet[1] nur sehr unzulängliche Beweise beigebracht hatte, vorwiegend deshalb geleugnet, weil die Hälften einer längsgespaltenen Wurzel innerhalb der wachsenden Region meist nicht unmittelbar sich nach innen krümmen; allein die Krümmung während des Wachsthums der Hälften beweist jedenfalls, dass das Parenchym den Strang dehnt; wenn diess unmittelbar nach der Spaltung nicht sofort durch eine Krümmung sich äussert, so ist zu bedenken, dass die wachsende Region eine beträchtliche Steifheit besitzt, dass also schon eine bedeutende Kraft dazu gehört, sie zu krümmen; diese Kraft aber ist gering, weil die Elasticität des jungen Stranges sehr gering ist, er wird in der ganzen unverletzten Wurzel von dem ihn umgebenden Parenchym in dem Maasse gedehnt als dieses wächst; wächst dagegen nur eine halbe Wurzel, so wird der Strang zwar auch gedehnt, aber auf der Rindenseite stärker als auf der Schnittfläche und die entsprechende Krümmung wird deutlich sichtbar. Träte diese Erscheinung bei halbirten Wurzeln nur in feuchter Luft oder Erde ein, so könnte man glauben, die Schnittfläche des Stranges vertrockene und contrahire sich dabei, allein die Krümmung der Längshälften ist in Wasser, wo der Strang an seiner Schnittfläche solches aufnehmen kann, viel stärker; demnach wächst er langsamer als die Rinde.

Hinter der wachsenden Region hört diese Spannung auf, weil der Strang die ihm angethane Dehnung durch Wachsthum seiner Zellen ganz ausgleicht; kommt später sogar die entgegengesetzte Spannung zum Vorschein, so dürfte diess wohl daher rühren, dass das Wachsthum der Zellen im Strange länger dauert als in der Rinde.

§. 23. Wirkung seitlichen Druckes auf die wachsende Region der Wurzel.[1] Werden Keimpflanzen von Pisum, Phaseolus, Faba, Zea in feuchter Luft so befestigt, dass die 10—30 Mill. lange Wurzel horizontal schwebt, und wird dann neben jeder Wurzelspitze eine Stecknadel oder ein Holzstäbchen so befestigt, dass die Wurzel einen merklichen Druck erleidet, so erfolgt gewöhnlich binnen 8—10 Stunden oder später

1) Vergl. meine vorläufige Mittheilung in der physik. med. Gesellschaft zu Würzburg 16. März 1872.

eine Krümmung innerhalb der wachsenden Region, so dass die der Nadel anliegende Stelle concav erscheint; unter ungefähr 10 Exemplaren von Pisum findet man oft eines, dessen Wurzel eine ganze Schlinge um die Nadel gebildet hat oder in Form einer Schraubenwindung diese abwärts umläuft, indem das Wachsthum gleichzeitig von der Wirkung des seitlichen Druckes und dem Geotropismus beeinflusst wird; die übrigen Exemplare zeigen schwächere, einige gewöhnlich gar keine Krümmung, manche sind von der drückenden Nadel hinweggewendet, ausser Berührung mit ihr gekommen; Letzteres in Folge der bei Wurzeln so häufigen Nutation, die in anderen Fällen auch wieder veranlasst, dass die Wurzeln mit grösserer oder geringerer Kraft sich der Nadel andrücken und dementsprechend verschieden starke Krümmungen zeigen.

Offenbar wird die Krümmung durch Verlangsamung des Längenwachsthums auf der gedrückten Seite der Wurzel veranlasst, ähnlich wie bei den Ranken, wenn sie eine Stütze berühren; bei den so gekrümmten Wurzeln sind die Zuwachse ausserdem kleiner als bei den nicht gekrümmten.

Aehnliche Erscheinungen beobachtete ich auch an 5—6 Cm. langen Luftwurzeln von Cereus nycticallis, die sich um die Kanten eines eisernen Fensterpfostens so herumbogen, dass sie zweien Flächen, die sich rechtwinkelig schneiden, dicht anlagen. — Ich habe schon in meiner vorläufigen Mittheilung darauf hingewiesen, dass die Anschmiegung der Luftwurzeln der Orchideen und Aroideen wahrscheinlich auf einer ähnlichen Wirkung einseitigen Druckes beruht, den die wachsenden Wurzeln auf Mauern u. dgl. ausüben; dass dieser Druck nur gering zu sein braucht, sah ich daran, dass Luftwurzeln von verschiedenen Philodendren sich ebenso an freistehende Blattspreiten von anderen anschmiegten, ohne diese merklich aus ihrer Lage zu verschieben. Die Vorgänge bei dem Anschmiegen derartiger Luftwurzeln bedürfen jedoch eines genaueren Studiums, zu welchem es mir bisher an Material fehlte.

Bezüglich der Krümmung von Keimwurzeln bei meinen Versuchen habe ich noch nachzutragen, dass die drückende Nadel anfangs eine Stelle berührte, welche etwa 1—2 Mill. hinter der Spitze der Haube lag. Indem nun die ganze 6—8 Mill. lange vordere Region der Wurzel wächst, zumal die hinter der Nadel liegenden Theile sich strecken, wird ein Stück der wachsenden Region an der Nadel mit Reibung hingeschoben; war die Wurzel mit Theilstrichen von je 1 Mill. Distanz versehen, so wurden zwei bis drei derselben an der Nadel vorbeigeschoben (vergl. Fig. 7). Dieses vorbeigeschobene Stück war nun meist ganz grade, die Krümmung lag dann an der Stelle allein, welche zur Zeit der Beobachtung der Nadel anlag. Es scheint, dass die vorher gekrümmten Stellen, wenn sie durch das Wachsthum der hinteren von der Nadel weggeschoben werden, sich wieder

grade strecken; endlich kommt nach 15—20 Stunden eine Stelle an die Nadel, die keine weitere Verschiebung erfährt und an dieser ist nun die Krümmung eine bleibende.

Abwärtskrümmung der Hauptwurzeln.

§. 24. Es liegt ganz ausserhalb meiner hier gestellten Aufgabe, eine historisch-kritische Darstellung der Meinungen zu versuchen, die man seit den trefflichen Arbeiten DODART's (1700)[1]) und DUHAMEL's (1758)[2]) über die Abwärtskrümmung der Wurzeln gehegt hat. — Die Entdeckung KNIGHT's (1806)[3]), dass die Richtung der Wurzelspitze nach unten ebenso wie die der Stengel nach oben eine Wirkung der Gravitation ist, wird in neuerer Zeit nicht mehr angefochten, seine von HOFMEISTER (1860)[4]) genauer präcisirte Ansicht jedoch, wonach die Wurzelspitze wie ein weicher Körper durch ihr eigenes Gewicht sich abwärts krümmt, ist in den letzten Jahren vielfach Gegenstand der Controverse gewesen, nachdem DUTROCHET's Theorie (mém. p. 1 ff.) zumal durch WIGAND[5]) und HOFMEISTER beseitigt worden war. Zu einer abschliessenden Geschichte dieser Frage ist es jetzt noch zu früh; sie kann erst gegeben werden, wenn die Meinungen sich geklärt haben. Zu dieser Klärung, soweit sie die sichtbaren Vorgänge der Abwärtskrümmung selbst betrifft, sollen die folgenden Mittheilungen beitragen; dagegen ist es durchaus nicht meine Absicht, eine neue Theorie aufzustellen über die Art und Weise, wie die Schwere die Molecularvorgänge einer sich abwärtsrichtenden Wurzel verändert; eine solche Theorie kann erst dann gegeben werden, wenn die sichtbaren Vorgänge viel genauer bekannt sind als bisher und wenn gleichzeitig die Aufwärtskrümmung der Stengel besser bekannt sein wird. Die hier mitzutheilenden Beobachtungen haben mich bereits bei der Bearbeitung der III. Aufl. meines Lehrbuchs (p. 755) veranlasst, die KNIGHT-HOFMEISTER'sche Theorie der Abwärtskrümmung der Wurzeln aufzugeben.

§. 25. Die krümmungsfähige Region der Wurzel. Alle neueren Beobachter kommen darin überein, dass eine von ihrer normalen Lage abgelenkte, z. B. horizontal gelegte Wurzel, bevor sie sich krümmt, erst einige Zeit in grader Richtung sich verlängert; auch darüber herrscht

1) DODART, sur l'Affectation de la perpendiculaire, remarquable dans toutes les tiges, dans plusieurs racines etc. in histoire de l'Academie royale des sciences, Paris 1700 (enthalten in dem 1718 erschienenen Bande p. 47 des zweiten Abschnittes für das Jahr 1700).

2) DUHAMEL, physique des arbres II p. 137.

3) KNIGHT, philos. Transact. 1806 Th. I p. 99 ff.

4) HOFMEISTER, Berichte der Königl. Sächs. Gesellschaft 1860 und Jahrb. für wiss. Botanik III p. 94 ff.

5) WIGAND, Botan. Untersuchungen, Braunschweig 1854 p. 161 ff.

kein Zweifel, dass nur innerhalb der im Wachsen begriffenen Region die Krümmung vollzogen wird; sie vertreten jedoch in dieser Beziehung zwei verschiedene Ansichten: Hofmeister [1]) verlegt die der Abwärtskrümmung fähige Region an die Stelle, »wo an der convex gewordenen Kante der Wurzel der parenchymatische Verband der Zellen der Wurzelhaube mit den Zellen des bleibenden Theils der Wurzel endet«, eine Stelle welche bei Pisum 1,75 bis 3 Mill. (im Mittel 2,3 Mill.) von der Spitze, der Haube entfernt sei. Frank [2]), Müller [3]), Ciesielski [4]) dagegen behaupten, die Krümmung erfolge an der Stelle des stärksten Wachsthums, also innerhalb der Querzone, die sich soeben im Maximum der Wachsthumsgeschwindigkeit befindet. Die Angaben der Gegner kommen also darin überein, dass es nicht die ganze wachsende Region der Wurzel, sondern nur eine bestimmte Querzone derselben ist, in welcher die Krümmung sich vollzieht; nur die Lage dieser Zone ist streitig.

Bevor ich auf eine ausführlichere Darlegung meiner Beobachtungen eingehe, will ich sogleich hier das Hauptresultat derselben mittheilen; es besteht darin, dass die Abwärtskrümmung sowohl in Luft, wie in Wasser und Erde vorwiegend von den zur Zeit im raschesten Wachsthum begriffenen Zonen vermittelt wird, dass jedoch die davor und dahinter liegenden sich nach Maassgabe ihres Wachsthums und ihrer Lage zum Erdradius dabei betheiligen. Da ich erst weiter unten, wenn gewisse Vorfragen beantwortet sind, auf die Einzelheiten des Vorgangs zurückkomme, so mag hier einstweilen das eben Gesagte an einem Beispiel erläutert werden:

Fig. 9.

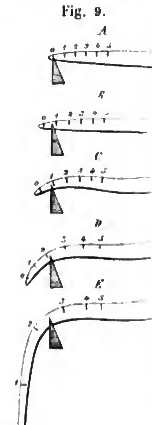


Fig. 9 stellt die verschiedenen Krümmungszustände einer, hinter der Glimmerwand in sehr lockerer Erde bei 19,7—20° C. wachsenden Wurzel von Faba dar. Die wachsende Region ist vom Vegetationspunkt aus in 5 Zonen von je 2 Mill. Länge eingetheilt; ein Papierindex zeigt mit seiner Spitze auf die Marke 0 der horizontalgelegten Wurzel (*A*); in *B* ist dieselbe Wurzel eine Stunde später anscheinend noch ganz grade, aber bereits um etwa 1,6 Mill. verlängert, wie die Verschiebung der Marke 0 zeigt; in *C* erscheint die Wurzel nach 2 Stunden noch mehr verlängert und deutlich gekrümmt; die Krümmung hat jetzt, wie man sich mit Hilfe eines durchsichtigen Glimmerplättchens mit eingeritzten Kreisen überzeugt, die Form eines Kreisbogens von circa 15 Mill. Radius oder ist doch

1) Hofmeister, Jahrb. f. wiss. Botanik III p. 98 und Botan. Zeitung 1869 p. 33.

2) Frank, Beiträge p. 35.

3) Müller, Bot. Zeitung 1869 p. 390.

4) Ciesielski l. c. p. 12.

von einem solchen nicht zu unterscheiden: hinter der Marke 5 liegt eine geringe Concavität auf der Oberseite, die, wie ich später zeigen werde, durch den geringen Widerstand der lockeren Erde an der Spitze der Wurzel bewirkt wird. *D* zeigt uns dieselbe Wurzel 7 Stunden nach Beginn der horizontalen Lage *A*; jetzt sind bereits die Marken 1, 2 bei dem Index vorbeigewandert, die Wurzel also nun mehr als 4 Mill. gewachsen und die Partialzuwachse, auf der convexen Seite gemessen, sind

Zone	Zuwachse in Mill.
V	0,4
IV	1,0
III	1,8
II	0,8
I	0,2
Summe	4,2 Mill.

Die Krümmung ist jetzt verstärkt, der Krümmungsradius der Convexität, der bei *C* etwa 15 Mill. betrug, ist bei *D* nur circa 10 Mill. lang; auch jetzt noch gleicht sie ziemlich genau einem Kreisbogen, der alle wachsenden Theile bis Marke 5 umfasst, doch sind wahrscheinlich die Zonen II, III etwas stärker gekrümmt als I und IV, V.

E ist das Bild der Wurzel nach 23 Stunden; die Krümmung hat jetzt zwei Veränderungen erfahren; sie ist erstens nicht mehr ein Kreisbogen, sondern zwischen den Marken 2 und 3 stärker als vorn und hinten; die Ursachen davon werde ich später nachweisen; zweitens aber ist der Krümmungsradius der convexen Seite zwischen den Marken 2 und 3 jetzt noch kleiner als vorhin, circa 8 Mill.; in dem Zustand *D* war die Spitze der Wurzel unter ungefähr 45° gegen den Horizont gerichtet, jetzt in *E* ist sie schon senkrecht; man sieht, dass es vorwiegend, aber nicht allein die Krümmung und das Wachsthum der Zone III (zwischen 2 und 3) ist, durch welche die Zone II und I abwärts gerichtet worden sind. In Zone II ist nahe der Marke 2 noch eine merkliche Krümmung vorhanden, die gegen Marke 1 hin abnimmt, die Zone I ist kaum merklich gekrümmt. Nimmt man die Marke 3 zum Ausgangspunkt, so hat die Krümmung der Wurzel von dort bis zur Spitze nahezu die Form einer Parabel, deren Scheitel ungefähr bei 3 liegt, deren Axe die Verticale dieses Punktes ist, was in Fig. 2 fast noch deutlicher hervortritt und bei jeder kräftig gewachsenen Wurzel, zumal in feuchter Erde, beobachtet werden kann. Weniger deutlich sind die hier dargestellten Erscheinungen an in Luft und in Wasser wachsenden Wurzeln zu beobachten, wie ich noch weiter zeigen werde.

Die Constatirung der Thatsache, dass bei einer horizontal gelegten Wurzel alle wachsenden Zonen an der Abwärtskrümmung in der bereits angegebenen und noch weiter zu discutirenden Weise sich betheiligen, widerlegt nicht nur die Knight–Hofmeister'sche Theorie, sondern sie ist auch die Basis jeder weiteren Erforschung der geotropischen Wurzel-

krümmung; vor Allem wird es erst jetzt möglich, die Frage, um welche es sich wirklich handelt, klar zu stellen. Offenbar zeigt schon Fig. 2 und Fig. 9 *B*, *C*, *D*, dass die Abwärtsrichtung der Wurzelspitze ganz vorwiegend eine Wirkung der Krümmung ist, die sich in den weiter zurückliegenden Theilen vollzieht, wie auch die anderen Beobachter zugeben; hervorzuheben ist aber, dass anfangs auch die davor und dahinter liegenden Zonen, sofern sie wachsen, sich an der Krümmung betheiligen; warum diess später nicht mehr oder in geringerem Grade der Fall ist, werde ich unten zu zeigen suchen. Die Frage, warum wendet sich die Spitze einer aus der verticalen Lage abgelenkten Wurzel abwärts, verwandelt sich also in die bestimmtere Frage, warum krümmt sich überhaupt die ganze wachsende Region der Wurzel in einer verticalen Ebene, wenn sie aus ihrer normalen Lage gebracht wird, so dass die Oberseite convex wird, oder was ganz dasselbe bedeutet, warum wächst die Oberseite in diesem Fall rascher als die Unterseite und warum verändert sich die Krümmung von Zone zu Zone; dass bei diesem Vorgang die Wurzelspitze abwärts gerichtet wird, ist eine nothwendige Folge, und für die Biologie der Pflanze die Hauptsache, für die Lösung des Problems aber eigentlich Nebensache. — Frank legte den Schwerpunkt seiner Untersuchung in den Nachweis der Thatsache, dass die Abwärtskrümmung der Wurzelspitze eine Folge des von der Schwere afficirten Längenwachsthums sei [1]); er bleibt aber wie auch Müller und Ciesielski den Beweis für die Behauptung schuldig, warum nur gewisse wachsende Theile der Wurzel, und nicht alle, an der Krümmung sich betheiligen; denn diesen Beweis mussten diejenigen liefern, welche behaupteten, dass nur die Zone des stärksten Zuwachses die Krümmung erfährt; der Beweis wurde aber nicht geliefert, weil man 1) diese Frage sich gar nicht stellte, und 2) weil es unmöglich ist, ihn zu liefern, da ja thatsächlich alle wachsende Zonen der Wurzel, nach Maassgabe der Umstände sich an der Krümmung betheiligen.

Dass diese Betheiligung aller wachsenden Zonen an der geotropischen Krümmung der Wurzeln übersehen werden konnte, dürfte vorwiegend auf folgenden Ursachen beruhen.

a. Die Beobachter haben die Abwärtskrümmung an in feuchter Luft wachsenden Wurzeln studirt, wo dieselbe auch bei wiederholter Benetzung oft Abnormitäten zeigt und in der Zeit sehr veränderlich ist (vergl. unten).

1) Frank, Beiträge p. 34 ff. Dieser Nachweis war in der von Frank gegebenen Form kein Beweis gegen die Knight-Hofmeister'sche Theorie, die ja die Vermittelung der Abwärtskrümmung durch Wachsthum gar nicht leugnete, sondern zu erklären suchte, wie die Gravitation das Wachsthum beeinflusst; sie nahm nach meiner Auffassung an, dieser Einfluss werde durch das Gewicht ausgeübt, welches die Wurzelspitze vor der gekrümmten Stelle besitzt und welches durch Zerrung an dieser Stelle das Wachsthum beeinflusst; dagegen ist der von Frank gegebene Nachweis, dass eine auf fester Unterlage horizontal liegende Wurzel auf der Oberseite convex wird, eine Widerlegung jener Theorie, doch hat Frank diese Erscheinung nicht genau genug studirt.

b. Sie haben gewöhnlich, um recht starke Krümmungen zu bekommen, die Wurzeln nicht horizontal, sondern schief aufgerichtet weiter wachsen lassen; nun leuchtet aber ein, dass die Schwere, wenn sie die Krümmung überhaupt bewirkt, diess am deutlichsten thun wird, wenn ihre Richtung die Wurzelaxe rechtwinkelig schneidet; bei schiefem Winkel beider treten sofort Erscheinungen ein, welche den Vorgang complicirter machen (vergl. §. 28). Daher halte ich für das eigentliche Grundphänomen, welches die Beobachtung zu studiren hat, die erste merklich werdende Krümmung einer horizontal gelegten Wurzel; denn nur während dieser Zeit liegen alle wachsende Zonen beinahe rechtwinkelig zur Richtung der Schwere; ist die Krümmung weiter fortgeschritten, so hören die hinteren Theile zu wachsen und daher sich zu krümmen auf, die vorderen sind nicht mehr rechtwinkelig zur Richtung der Schwere und werden daher weniger von dieser afficirt, daher wird ihre Krümmung um so schwächer, je mehr sie sich der verticalen Lage nähern. Die Erscheinung ist also später eine complicirtere als anfangs.

c. Die zuerst auftretende Krümmung ist sehr flach und offenbar von den Beobachtern, wenn auch gesehen, doch nicht weiter in Betracht gezogen worden. Später aber, wenn die Krümmung sich verstärkt, geschieht diess vorwiegend an einer älteren noch kräftig wachsenden Stelle; hier bildet sich eine Art Knie mit stärkster Krümmung; daneben erscheint dann leicht die flachere Krümmung vor und hinter dem Knie als Nebensache, ja es ist oft sogar schwer, zu sehen ob diese Stellen wirklich gekrümmt sind, denn ein Kreisbogen von 10—25° bei einem Krümmungsradius von 15 bis 20 Mill. erscheint nur wenig gekrümmt und kann leicht für eine grade Linie gehalten werden, wenn man nicht durch Anlegung eines Lineals oder einer Glimmerplatte mit eingeritzten Kreisen (Fig. 2) die wahre Form der vor und hinter dem Knie liegenden Wurzeltheile zu bestimmen sucht.

d. Wäre die Annahme, dass es nur eine bestimmte Querzone der Wurzel sei, die sich geotropisch krümmt, während die übrigen wachsenden Theile grade bleiben, richtig, so müsste die Form einer gekrümmten Wurzel eine auffallend andere sein, als sie wirklich ist; dann müsste, wie leicht ersichtlich, vom ersten Beginn der Erscheinung an, die wachsende Region gewissermaassen gebrochen erscheinen, ein immer schärfer werdendes Knie müsste vorn und hinten von ganz graden Stücken begränzt sein; statt dessen verläuft die Krümmung anfangs ganz gleichförmig über die ganze wachsende Strecke und später geht die stärkste Krümmung nach vorn und hinten allmälig in immer schwächere Krümmungen über, so dass man die Stelle, wo sie aufhört, in die grade Linie übergeht, nicht bestimmt angeben kann.

Nach allem hier Gesagten ist der Ausdruck, die Wurzel krümmt sich an dieser oder jener Stelle, welche so und so weit von der Spitze entfernt

ist, eigentlich unrichtig, es kann nur gesagt werden, wo ungefähr die stärkste Krümmung liegt.

§. 26. Verschiedenheit der Krümmung in Luft, Wasser, Sand, Erde. Da die in §. 11 und 12 beschriebenen Erscheinungen als Fehlerquellen auftreten können, wenn es darauf ankommt, das Verhalten horizontal oder schief gelegter Wurzeln zu studiren, so wurde bei allen meinen Versuchen immer darauf geachtet, dass die bilateralen Keimpflanzen mit einer Flanke abwärts, mit der anderen aufwärts zu liegen kamen, weil in dieser Lage die Nutation des hypocotylen Gliedes und des oberen Wurzeltheils die Wurzelspitze nicht aus ihrer horizontalen Lage bringt, und anderseits wurde darauf gesehen, dass die nicht in Erde wachsenden Wurzeln entweder ganz in Wasser oder ganz in Luft sich befanden, da, wie ich zeigte, einseitige Benetzung der Wurzeln Krümmungen convex auf der nassen Seite innerhalb der wachsenden Region und weiter rückwärts erzeugt.

Wo im Folgenden Krümmungsradien genannt sind, da gelten sie für die Wachsthumaxe der Wurzel, wenn es nicht anders bemerkt ist.

Hofmeister [1]) hat darauf hingewiesen, dass in feuchter Luft wachsende Wurzeln sich bei der Abwärtskrümmung anders als die in Erde verhalten, indem ihre Krümmung einen viel flacheren Bogen beschreibt. Meine sehr zahlreichen Versuche führen zu folgenden Ergebnissen:

a. Die Verschiedenheit des Verhaltens der von der Verticale abgelenkten Wurzeln richtet sich wesentlich danach, ob das sie umgebende Medium den Bewegungen der Wurzelspitze einen erheblichen Widerstand entgegensetzt oder nicht; ob also das Medium einerseits Wasser oder Luft, oder ob es anderseits Sand, Erde oder Quecksilber ist: die Form der Krümmung und ihre nachträgliche Veränderung ist dieselbe, ob die Wurzel in Wasser oder feuchter Luft wächst, sie ist nahezu dieselbe, ob sie in lockerem Sand, lockerer Erde oder in Quecksilber sich vollzieht. Ich will jedoch das Verhalten in Quecksilber einstweilen von der Betrachtung ausschliessen und nur den Gegensatz von Luft und Wasser einer-, von Sand und Erde anderseits betrachten.

b. Die Form der Krümmung ist bei den in Luft oder Wasser ebenso wie bei den in Sand oder Erde wachsenden horizontal gelegten oder schief aufgerichteten Wurzeln von Faba, Pisum, Phaseolus, Aesculus anfangs, d. h. nach 4—6 Stunden (bei 18—20° C.) die eines Kreisbogens, der die ganze während dieser Zeit merklich wachsende Region umfasst; die Krümmung steigert sich in den ersten Stunden vom kaum merklichen flachen Bogen bis zu einem gewissen Grade, indem der Krümmungsradius immer kleiner wird, man bemerkt, dass diese Zunahme der Krümmung an der Stelle des stärksten Wachsthums am bedeutendsten ist, dass der Kreisbogen in eine

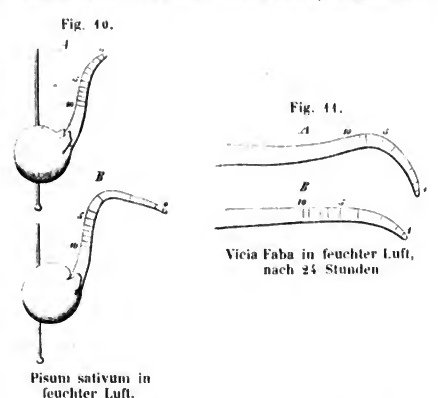
1) Hofmeister, Bot. Zeitung 1869 p. 92.

mehr parabolische Form übergeht, deren Scheitel in der Gegend des stärksten Wachsthums liegt.

c. Mit dem Eintreten der parabelähnlichen Form macht sich gewöhnlich auch ein Unterschied geltend, je nachdem die Wurzeln in Luft, Wasser oder in Sand, Erde wachsen.

Bei den ersten nämlich erscheint häufig der am stärksten gekrümmte Theil wie ein scharfes Knie, vor und hinter welchem die Krümmung plötzlich flacher wird, wie z. B. in Fig. 10 *B*, wo die Wurzel schief aufgerichtet war, dasselbe geschieht aber auch bei horizontal gelegten Wurzeln. Bei den in Sand oder Erde wachsenden Wurzeln dagegen ist der Uebergang von der stärksten Krümmung zu den schwächeren davor und dahinter ein sehr allmäliger (Fig. 9, Fig. 2), der Bogen ein mehr gleichmässig geschwungener.

d. Bei noch weiter fortgesetztem Wachsthum, d. h. nach 15—20 Stunden findet man mit Hilfe der auf Glimmerplättchen eingeritzten Kreise, dass sich die Krümmung der Wurzel in Erde und Sand nicht geändert hat, d. h. die nach 6—8 Stunden (Fig. 2, Fig. 8) gekrümmten Theile behalten ihre Form, nur die vordersten Zonen können noch Veränderungen erfahren. Anders bei Wurzeln in Luft und Wasser; hier können zwei verschiedene Aenderungen eintreten; entweder die vorhandene stärkste knieförmige Krümmung bleibt erhalten und das vordere Stück, welches sich jetzt rasch



Pisum sativum in feuchter Luft.

Vicia Faba in feuchter Luft, nach 24 Stunden

verlängert, wächst mit sehr geringer Krümmung oder fast grade fort (Fig. 10 *B*, Fig. 11 *A*); oder aber, die knieförmige Krümmung gleicht sich mehr und mehr aus, an ihrer Stelle entsteht ein flacher Bogen (Fig. 11 *B*).

An diesen Aenderungen ist zweierlei von Interesse: erstens dass der

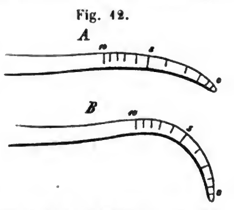
kräftig fortwachsende vordere Theil der Wurzel oft keine weitere Krümmung durch die Gravitation erfährt, obgleich er mit dem Erdradius einen Winkel bildet, der auch ein rechter sein kann; zumal schief abwärts gerichtete Wurzeln, die mit der Verticale einen Winkel von 20—30° bilden, wachsen oft tagelang grade fort, auch in Wasser, ohne je die verticale Richtung zu gewinnen; diese Unempfindlichkeit für die Wirkung der Schwere ist um so auffallender, als Wurzeln, welche frisch aus dem Keimlager genommen und in Luft oder Wasser schief oder horizontal gelegt werden, sich in den ersten Stunden normal krümmen (siehe sub a). Ich bin nicht im Stande, eine Ursache dieses Verhaltens anzugeben. Zweitens ist von Interesse, dass sich die anfängliche Krümmung der Wurzel in Luft und Wasser oft stark abflacht, zuweilen fast grade wird. Diess zeigt, dass die Zellen der Unterseite, welche anfangs langsamer wuchsen als die der Oberseite, nachträglich von Neuem stärker wachsen und so die Krümmung ausgleichen. Das Streben, nachträglich, wenn die Krümmung schon entstanden ist, auf der concaven Unterseite stärker zu wachsen, ist zuweilen auch bei Wurzeln in lockerer Erde zu bemerken; nimmt man sie nämlich nach 24 oder 48 Stunden aus der Erde heraus, so vergrössert sich plötzlich der Winkel, den das senkrechte junge fast grade Stück (Fig. 9 *E*) mit dem alten horizontalen bildet. Diess beweist, dass die untere Partie der Wurzel sich gegen die Erde gestemmt hatte, indem sie gehindert wurde ihre Krümmung abzuflachen. Doch kommt diese Erscheinung selten vor, wohl in Folge der geringen und sehr unvollkommenen Elasticität der Wurzel, die es bedingt, dass der ihr durch den Widerstand des Bodens aufgezwungene Zustand, ein dauernder wird.

e. Die Frage, ob der Krümmungsradius gleichdicker Wurzeln in Luft und Wasser einer-, in festen Medien anderseits bei gleicher Aufstellung der Keimpflanzen und gleicher Wachsthumsgeschwindigkeit der gleiche sei, lässt sich schwer entscheiden, da gleichartige Wurzeln auch in demselben Medium sich verschieden stärk krümmen; zudem hätte die Beantwortung jener Frage auch nur für die ersten Stunden der Krümmung einen stengeren Sinn, da die Krümmung später in Luft und Wasser sich verflacht; dem entsprechend zeigen denn auch sehr zahlreiche Messungen, die ich nach 20—30 Stunden vornahm, dass die Krümmung in Luft immer viel flacher war als in Erde oder Sand. Die Messung in den ersten Stunden jedoch, die viel wichtiger wäre, ist schwierig, da der Krümmungsradius eines Bogens von etwa 20—30° an einem so dicken Körper, wie es die Wurzel ist, nicht leicht mit Sicherheit bestimmt werden kann, wenn sie nicht fest in Erde liegt.

Doch lässt sich so viel mit Bestimmtheit angeben, dass in feuchter Luft oder in Wasser die Krümmung sehr oft sehr flach ist, so flach wie sie bei den in Erde und Sand gewachsenen Wurzeln niemals vorkommt. So zeigt z. B. Fig. 12 die Wurzeln zweier sehr gleichartiger Keimpflanzen

von Faba, 15 Stunden nachdem sie horizontal gelegt worden; bei *A* in feuchter Luft ist die Krümmung sehr flach, bei *B* in Sand so stark, wie sie sonst auch in lockerer Erde gewöhnlich vorkommt. Bei demselben Versuch waren noch jederseits zwei andere, paarweis gleiche Wurzeln verwendet worden, die den Unterschied in gleicher Stärke und in gleichem Sinne zeigten. Zu beachten ist bei dieser Verschiedenheit, dass sie weder mit der Grösse des gesammten Zuwachses noch mit der Vertheilung der Partialzuwachse zusammenhängt. Nur beispielsweise will ich aus vielen anderen Messungen, welche dasselbe ergeben, die Zuwachse der beiden in Fig. 12 abgebildeten Wurzeln hier mittheilen:

Fig. 12.



Vicia Faba 15 Stunden nach der Horizontallegung; *A* in feuchter Luft, *B* in feuchtem Sand.

Partialzuwachse in Mill. auf der convexen Seite gemessen.

Zone	*A* in feuchter Luft	*B* in feuchtem Sand
X	0,0	0,2
IX	0,2	0,5
VIII	0,3	0,5
VII	1,5	1,5
VI	1,6	1,6
V	2,0	2,5
IV	3,0	2,4
III	2,0	1,5
II	1,2	1,5
I	0,0	0,5
Gesammtzuwachs	11,7	12,7

Der Krümmungsradius der convexen Seite des aus den Zonen IV, V, VI, VII bestehenden Stückes beträgt bei *B* nahebei 10 Mill., bei *A* circa 40 Mill.; beide Wurzeln waren in der Zone V ungefähr 2 Mill. dick.

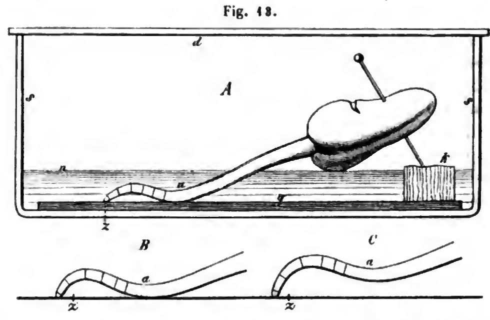
Die Differenz des Längenwachsthums der Ober- und Unterseite, als deren Ausdruck die Krümmung erscheint, war also, wie man auch ohne Berechnung sofort sieht, bei *A* sehr unbedeutend, bei *B* aber recht beträchtlich; die Ursache dieser Verschiedenheit wird sich zum Theil aus §. 28 ergeben.

§. 27. **Verhalten der Abwärtskrümmung bei Widerstand leistender Unterlage. a) Wurzel auf horizontaler Glasplatte.**[1]) In der Nähe des Randes einer kreisrunden Glasscheibe (Fig. 13 *g*) befestige

1) Vergl. Frank, Bot. Zeitung 1868 p. 579 und Hofmeister, Bot. Zeitung 1869 p. 92.

ich mit Siegellack eine Leiste von Kork (*k*), in welcher mit Nadeln Keimpflanzen so angesteckt werden, dass die 3—5 Cm. lange Wurzel der Scheibe wenigstens mit ihrem vorderen 1—2 Cm. langen Theil dicht anliegt. Diese Vorrichtung wird in eine grosse Krystallisirschale *s s* von Glas gelegt. Kommt

Fig. 13.



Geotropische Krümmung einer Wurzel von Faba auf fester Unterlage in verschiedenen Entwickelungsstadien *A*, *B*, *C*; *z* überall die Stelle der Glasplatte, auf welcher anfangs die Spitze der Wurzel lag.

es darauf an, die Wurzel in feuchter Luft zu beobachten, so wird die Krystallisirschale vorher innen nur benetzt, sodass die Glasplatte trocken bleibt; soll die Wurzel in Wasser liegen, so giesst man (wie in Fig. 13 *n n*) soviel davon ein, dass es die Wurzel bedeckt, die Cotyledonen aber von Luft umgeben bleiben. Ein gut schliessender Glasdeckel oder eine niedrige Glasglocke wird nun aufgesetzt, um die Luft über den Keimpflanzen feucht zu halten. Gewöhnlich wurden 5—6 Keimpflanzen gleichzeitig neben einander auf dem Kork (*k*) befestigt.

Beobachtet man nun in kurzen Zeiträumen, z. B. anfangs von 10—10 Minuten, später von Stunde zu Stunde, so bemerkt man, wie schon Frank l. c. angegeben hat, dass die wachsende Region der Wurzel sich in einem nach oben convexen Bogen von der festen Platte abhebt; wobei einerseits die Spitze (Fig. 13 *z*) anderseits die hinter der wachsenden Region liegende Stelle der Wurzel (*a*) der Platte dicht anliegt; 2—3 Stunden nach Beginn des Versuchs ist die Höhe der Concavität der Unterseite der Wurzel sehr gering; man kann zwischen ihr und Glasplatte eben durchsehen, und man bemerkt an der Markirung, dass die am stärksten wachsende Zone der Wurzel die höchste Stelle des flachen Kreisbogens einnimmt, den die wachsende Region bildet.

Später wird die Krümmung beträchtlicher, indem alle Querzonen dieser Region sich verlängern, der Bogen umfasst eine grössere Zahl von Graden und seine Höhe über der Glasplatte erreicht 3—4 Mill. (bei Faba). Nach

15—20 Stunden hat sich das Bild jedoch geändert; der Raum zwischen der höchsten Stelle der Concavität und der Unterlage ist nicht nur höher (5—6 Mill.) geworden, sondern auch die Form der markirten Region hat sich geändert; lag anfangs der höchste Punkt der noch kreisbogenförmigen Krümmung z. B. in der dritten ursprünglich 2 Mill. langen Zone, so liegt er jetzt am vorderen Theil der zweiten Zone, später sogar in der verlängerten ersten Zone; dabei ist die ganze gekrümmte Region nicht mehr ein Kreisbogen, sondern ungefähr parabolisch: die stärkste Krümmung liegt in den erst später stark gewachsenen vorderen Zonen, von wo aus sie sich hinten abflacht.

Indem bei diesen Vorgängen die Wurzelspitze sich auf die feste Platte aufstemmt, und die über der Spitze liegenden Theile sich verlängern, werden diese immer höher über das Niveau der Platte emporgehoben, dadurch steigert sich zunächst die auf der Oberseite concave Einkrümmung hinter der entgegengesetzten geotropischen Convexität (Fig. 13 *B*), endlich genügt auch diese nicht mehr und ein langer Theil oder die ganze ältere Wurzelregion erhebt sich über die Platte (Fig. 13 *C*). Je nach der Steifheit der Wurzel kann diess früher oder später eintreten. Der Vorgang beruht wie leicht ersichtlich auf der grösseren Biegsamkeit der älteren Wurzeltheile; die sehr unvollkommene Elasticität derselben bewirkt, dass wenn man eine wie Fig. 13 *C* gehobene Wurzel ganz von der Platte abhebt, sie ihre Form fast genau behält.

Diese Erscheinungen treten in feuchter Luft wie in Wasser ein; warum die Krümmung sich ändert soll in einem späteren Abschnitt untersucht werden (§. 28).

Indem jedoch die ältern Wurzeltheile gehoben werden, drücken sie vermöge ihrer Elasticität auf die vordere jetzt allein noch wachsende Region; befindet sich diese in Wasser, so besteht der Effect meist nur darin, dass die Krümmung aller Theile wieder flacher wird, die Wurzelspitze aus ihrer fast senkrechten in eine nach vorn zielende schiefe Lage übergeht. Ist die Wurzel dagegen von feuchter Luft umgeben, also schlaff (§. 10), so bewirkt der Gegendruck der hinteren Region, dass die vordere wachsende, abwärts gerichtete und stärker erschlaffte Stelle Verbiegungen erleidet, welche die mannigfaltigsten Formen annehmen können.

b. Um Wurzeln in ihrem Verhalten gegen widerstehende festere Erde zu beobachten, wurde die auch sonst benutzte gesiebte schwarze Gartenerde in den Kästen mit der Hand festgedrückt, so dass eine glatte Oberfläche entstand, auf diese wurden die Keimpflanzen dicht hinter der schiefen Glaswand horizontal auf die rechte oder linke Flanke gelegt und nun die Cotyledonen sowie der hintere Wurzeltheil mit einer dicken Lage lockerer Erde zugedeckt; nur die wachsende Region lag frei auf der festen Erde. Die nun auftretenden Erscheinungen waren ganz dieselben, wie auf der Glasplatte: die Wurzelspitze stellte sich beinahe rechtwinkelig auf

die feste Erde, wobei der hintere Wurzeltheil sammt der Last der auf ihm liegenden lockeren Erde emporgehoben wurde; war die unterliegende Erde sehr fest, so drang die Wurzelspitze nicht ein, war sie etwas lockerer, so wurde sie durch die Elasticität der hinteren Theile in die Erde hineingedrückt. — Wurde der Versuch ganz in derselben Weise eingerichtet, nur mit dem Unterschied, dass die ganze auf festerer Erde liegende Wurzel, auch vorn mit lockerer Erde bedeckt war, so hob sich die wie auf einer Glasplatte sich krümmende Region derart, dass unter ihr eine Höhlung zwischen der Concavität der Wurzel und der festen Erdschicht entstand; da aber in diesem Fall auf der wachsenden Region selbst eine Last von Erde ruhte, so hatte die sich abwärts wendende Spitze der Wurzel von vornherein einen Rückhalt und konnte so leichter, als vorhin, in die unterliegende festere Erde eindringen. Die ganze wachsende Region beschreibt in diesem Falle bei Faba oft einen schönen Kreisbogen von 10—15 Mill. Radius und 90° Bogenlänge. — Auch wenn die Wurzel in ganz lockerer Erde liegt, macht sich der Widerstand derselben gegen die sich krümmende Spitze darin geltend, dass man hinter der aufwärts convexen wachsenden Region eine kleine Concavität wahrnimmt, wie in Fig. 2 und 9 *C* hinter der Marke 5.

c. Hebung eines Gewichts durch die Abwärtskrümmung. Bei der Beurtheilung des bekannten Johnson'schen Versuches[1]) handelt es sich offenbar um dieselben Gesichtspunkte, wie bei dem Verhalten einer Wurzel auf einer festen oder doch widerstandsfähigen Unterlage, nur dass es dabei möglich wird, die Kraft bis zu einem gewissen Grade, wenn auch keineswegs genau (§. 20) zu messen, welche die Wurzelspitze bei ihrer Abwärtskrümmung geltend zu machen im Stande ist.

Zur Anstellung dieses Versuchs fand ich folgendes Verfahren zweckmässig: auf einer grossen Korkscheibe ist ein senkrechter Ständer mit einer sehr leicht beweglichen Rolle befestigt, über welche ein Coconfaden geführt ist; an die beiden herabhängenden Enden desselben sind Wachsstückchen von etwa 1 Gramm Gewicht befestigt. Das eine Wachsstück wird zu einem kleinen löffelartigen Schälchen mit einer nach aussen mündenden Rinne (ungefähr von der Form einer antiken Handlampe) umgeformt, mit einem aufrechten Fortsatz zur Befestigung am Faden. In die Höhlung dieses Löffels wird ein Tropfen Wasser gebracht und nun das Gleichgewicht desselben mit dem anderen Wachsstück hergestellt; ist diess geschehen, so steckt man in den Kork, der das Ganze trägt, eine Nadel, an welcher eine Keimpflanze von Faba so aufgespiesst ist, dass sie auf der Seite liegt. Die etwa 2 Cm. lange Wurzel wird nun in die Rinne des Löffels mit der Spitze

---

1) Henry Johnson; Referat über seinen Versuch in Linnaea V, 1830 p. 148. — Hofmeister, Bot. Zeitung 1868 p. 273. — Frank, ebenda p. 597. — Müller, Bot. Zeitung 1871 p. 720.

so eingelegt, dass sie dem Wachs mit der Unterseite dicht anliegt und dabei von der kleinen Flüssigkeitsmenge benetzt ist. Auf das Wachsstückchen am anderen Ende des Fadens legt man nun einen Reiter aus dickem Stanniol, der vorher abgewogen worden ist; das Gewicht des Reiters sucht natürlich die Wurzelspitze aufwärts zu krümmen. Die Ränder des Löffels halten die Wurzel seitlich fest, die Spitze stemmt sich in den Hintergrund der Höhlung desselben; so ist ein Ausgleiten der Wurzel nicht zu fürchten, die übrigens ganz unbeschädigt bleibt und indem sie sich abwärts krümmt, sich doch immer in die Vertiefung des Wachslöffels hineinstemmt. Die ganze Vorrichtung steht in einer grossen mit Sand gefüllten Schale, über welche eine geräumige Glasglocke gestülpt wird.

Die auf diese Art angestellten Versuche mit kräftigen Hauptwurzeln von Faba zeigten nun, dass die Wurzelspitze sich ganz in der Weise wie sonst in feuchter Luft abwärts krümmt, wenn das Gewicht am anderen Ende des Fadens weniger als 1 Gramm beträgt; der ältere Wurzeltheil ausserhalb des Löffels erleidet dabei keine erhebliche Krümmung und die wachsende Region krümmt sich wie sonst, so dass die Wurzelspitze sich mehr und mehr abwärts richtet und indem sie diess thut und sich verlängert, wird das Gewicht am anderen Fadenende entsprechend gehoben. Der Versuch kann 2—3 Tage fortgeführt werden, wenn man die Wurzel ab und zu mit einer Spritzflasche benetzt, wobei darauf zu achten ist, dass der Löffel nicht mit Wassertropfen beschwert wird. Wiederholt wurde bei der Krümmung ein Gewicht von beinahe einem Gramm gehoben, ohne dass auch nur eine Abnormität an der Krümmung wahrzunehmen war. Dickere Wurzeln würden natürlich mehr, dünnere weniger leisten; denn der Erfolg hängt offenbar nur von der Biegsamkeit ab, so lange die Kraft, welche ich in §. 20 als äussere Arbeit des Wachsens bezeichnet habe, hinreicht das Gewicht zu heben; diese Kraft aber kann eben wegen der Biegsamkeit nicht vollständig gemessen werden.

d. Krümmung auf Quecksilber.[1] Die unten cit. Arbeiten von Frank, Müller, Spescheneff haben bereits gezeigt, dass Wurzeln von genügender Dicke d. h. Biegungsfestigkeit ihre Abwärtskrümmung auch dann vollziehen, wenn sie horizontal auf oder in Quecksilber liegen oder schief auf dessen Oberfläche stehen. Es kommt mir hier weniger darauf an die Richtigkeit dieser Angaben zu bestätigen, als vielmehr die Reihe der Erscheinungen, welche Wurzeln bei Widerstand gegen ihre Abwärtskrümmung zeigen, zu vervollständigen.

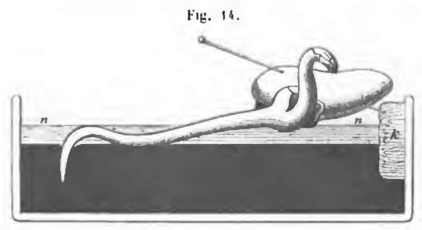
Zur Beobachtung an grösseren Keimpflanzen wie Faba, Phaseolus, Pisum, Quercus, Zea verwende ich den Apparat Fig. 14; in ein Glasgefäss

---

1) Vergl. Hofmeister, Jahrb. f. wiss. Bot. III p. 105, wo auch die ältere Lit. cit. ist. — Frank, Beiträge p. 26. — Frank, Bot. Zeitung 1868 p. 593. — Hofmeister, ebenda p. 267. — Müller, Bot. Zeitung 1870 p. 804. — Spescheneff, ebenda p. 65 ff.

von 6—8 Cm. Durchmesser wird reines Quecksilber bis zu 2—3 Cm. Hohe eingefüllt, nachdem an einer Stelle der Seitenwand ein Stück Kork (*k*) mit Siegellack befestigt worden ist; noch zweckmässiger ist es, das mit einem Spalt versehene Korkstück auf der Glaswand gewissermaassen reiten zu

Fig. 14.



Wurzel von Faba in Quecksilber eindringend; *k* Kork; *n n* Wasserschicht.

lassen. Eine Keimpflanze wird nun in der Weise, wie es die Figur zeigt an den Kork so angespiesst, dass die Wurzel mit ihrem vorderen Theil dem Quecksilber horizontal aufliegt, während die Cotyledonen (überhaupt der Same) etwas höher zu liegen kommt. Auf das Quecksilber giesst man eine 5—6 Mill. hohe Wasserschicht, welche die Wurzel vollständig bedeckt. Durch Ueberdecken einer Glasplatte oder Glocke wird der Raum um den Samen feucht erhalten.

Schon nach wenigen Stunden bemerkt man an der capillaren Vertiefung, welche das Quecksilber an der Wurzelspitze annimmt, dass diese in das Quecksilber einzudringen sucht; nach 15—20 Stunden findet man bei Faba, Pisum, Phaseolus, Quercus eine starke Krümmung, vermöge welcher die Wurzelspitze senkrecht abwärts gerichtet worden ist; sie wächst nun senkrecht in das flüssige Metall hinab; eine nach oben concave Stelle hinter der wachsenden nach oben convexen Region zeigt, wie bei den auf einer Glasplatte sich krümmenden Wurzeln an, dass hier die Wurzel durch den Gegendruck des Quecksilbers, der die Spitze nach oben zu stossen sucht, sich biegt; nicht selten sieht man, zumal bei beginnender Krümmung, dass die Concavität der gekrümmten Stelle das Quecksilber nicht berührt (wie auch in Fig. 13 *C*), ebenfalls eine Folge des Widerstandes, den die abwärts gerichtete Spitze an dem aufwärts gerichteten hydrostatischen Gegendruck des Quecksilbers findet. Wäre die Wurzel viel dünner und biegsamer, so würde ihre Elasticität nicht hinreichen, die sich krümmende Wurzel in das Metall hineinzudrücken, die Spitze würde nicht, oder nur zu geringer Tiefe eindringen, während der hinter der Krümmung liegende ältere Theil sich von dem Quecksilberniveau abhöbe, der Vorgang würde also ähnlich verlaufen wie bei dicken wenig biegsamen Wurzeln, die sich auf eine Glastafel stemmen. So ist es in der That bei dünnen, sehr

biegsamen Wurzeln, wie denen von Zea Mais, Polygonum Fagopyrum, Triticum. Sie kriechen auf dem Quecksilber hin, ohne ihre Spitze tief einsenken zu können, weil diese an dem allzubiegsamen älteren Wurzeltheil keinen Rückhalt findet. So wie es bei dicken Wurzeln auf Glasplatten oft geschieht, flacht sich nun die Krümmung der aufgestemmten Wurzel nachträglich ab, die Spitze bekommt eine sehr schiefe Lage zum Niveau und gleitet, von dem Wachsthum der hinter ihr liegenden Zonen gestossen, auf diesem hin. Aus der mit dem zunehmenden Alter der Querzonen sich ändernden Biegsamkeit und Elasticität in Verbindung mit den eben angedeuteten Verhältnissen, erklärt sich auch leicht die auf- und absteigende Wellenlinie, welche die auf Quecksilber hingleitenden dünnen Wurzeln gleich den dicken auf Glasplatten oft bilden.

Zur Beobachtung dieser Erscheinungen an dünnen Wurzeln kleiner Samen, wie der letztgenannten und derer von Lepidium, Sinapis u. dgl. benutze ich folgende Vorrichtung: auf das Quecksilbergefäss (wie Fig. 14), das oben bis zum Rand mit Wasser gefüllt ist, stelle ich ein etwas grösseres, aus einem Zinkreifen und Tüll construirtes Sieb, das mit kleinen feuchten Torfstückchen gefüllt ist; die Samen werden in die untere Torfschicht (die nur 2 Cm. hoch ist) gebracht. Sobald sie keimen, treten die Wurzeln durch die Tüllmaschen in das Wasser und treffen später das Quecksilber. Die Wasserschicht zwischen Tüll und Quecksilber darf nicht dicker als 15—20 Mill. sein, weil sonst die Wurzeln vor dem Auftreffen schon zu langsam wachsen würden. Um nun in dieser etwas zu dünnen Schicht die Wurzeln besser sehen zu können, setzt man das Ganze in einen grossen Glascylinder, und füllt Wasser bis zum Rand des Siebes in diesem nach.

§. 28. Die Form der geotropischen Krümmung der Hauptwurzel.[1]) So lange die Richtung der Wachsthumsaxe mit der des Erdradius zusammenfällt, wächst die Wurzel gradeaus, d. h. sie verlängert sich auf allen Seiten der Axe gleichstark; nur wenn die Letztere mit der Richtung der Erdschwere einen Winkel bildet, wird ein ungleich rasches Wachsthum derart bewirkt, dass die Oberseite sich rascher verlängert als die Unterseite, wodurch die geotropische Krümmung hervorgerufen wird.

Aus einer sorgfältigen Betrachtung der verschiedenen Formen, welche geotropisch gekrümmte Wurzeln gleicher Art unter verschiedenen Umständen (vergl. §. 27) annehmen, lassen sich nun folgende Sätze ableiten:

1) Querzonen verschiedenen Alters einer Wurzel erfahren während derselben Zeit verschiedene Krümmungen, wenn sie mit der Verticalen gleiche Winkel bilden, und zwar krümmen sie sich um so stärker, je rascher sie wachsen.

---

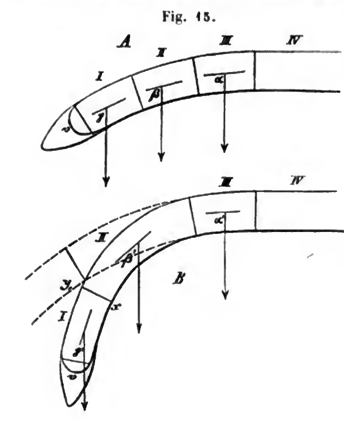
1) Inwiefern die nicht senkrecht wachsenden Nebenwurzeln sich anders verhalten als die Hauptwurzeln, werde ich später zeigen.

2) Querzonen von gleicher Entwickelungsphase erfahren verschiedene Krümmungen während derselben Zeit, wenn sie mit der Verticalen verschiedene Winkel bilden und zwar so, dass die Krümmung um so stärker ausfällt, je mehr sich dieser Winkel, den ich allgemein den Ablenkungswinkel nennen will, einem Rechten nähert; ist also der Ablenkungswinkel ein Rechter, so tritt das Maximum der Wachsthumsdifferenz der Ober- und Unterseite, also die stärkste Krümmung ein.

3) Aus jedem dieser beiden Sätze folgt, wie auch die Beobachtung zeigt, dass die Krümmung der ganzen wachsenden Region einer Wurzel nicht die Form eines Kreisbogens haben kann, sondern dass von einer Stelle der stärksten Krümmung (mit kleinstem Krümmungsradius) ausgehend, eine zunehmende Abflachung nach beiden Seiten hin stattfindet, indem die Krümmungsradien von jener Stelle ausgehend nach vorn und hinten fortschreitend, immer grösser werden, bis die Krümmung in der Nähe der Spitze sowohl wie am hinteren Ende der wachsenden Region allmälig ganz aufhört.

Die Ableitung dieser Sätze aus der Form verschieden gekrümmter Wurzeln würde eine etwas weitläufige werden; ich ziehe daher zum Zweck einer kürzeren Darstellung den umgekehrten Weg vor, sie einstweilen als gegeben zu betrachten und aus ihnen die verschiedenen Formen der Krümmung abzuleiten.

Fig. 15.



Sei Fig. 15 eine horizontal in feuchter Luft oder in Wasser aufgestellte, hinten befestigte Wurzel, deren wachsende Region in drei anfangs gleichlange Querzonen I, II, III eingetheilt worden ist, während IV den angrenzenden Theil der vollständig ausgewachsenen Region, und anderseits v den von der Wurzelhaube umschlossenen Vegetationspunkt bedeutet. — In dem nach einigen (2—3) Stunden erreichten Krümmungszustand A ist der Zuwachs der drei Zonen noch nicht sehr verschieden, der von II ist nur wenig grösser als der von I und III; daher ist auch die Krümmung der drei Zonen noch nicht merklich verschieden, das ganze Stück I, II, III ist daher von einem Kreisbogen kaum zu unterscheiden. — Nach längerer Zeit, z. B. nach 10—15 Stunden, ist nun die Form A in die Form B übergegangen. Die Zone III hat sich nur noch wenig verlängert und dann aufgehört zu wachsen, daher

konnte auch ihre Krümmung nur unmerklich zunehmen, obgleich ihr Ablenkungswinkel α einem Rechten nahe kommt. Die Zone II dagegen hat sich während der ganzen Zeit kräftig verlängert und dem entsprechend auch stärker gekrümmt, ihr Krümmungsradius ist kleiner geworden; Zone II hat sich aber stärker gekrümmt als III, obgleich ihr mittlerer Ablenkungswinkel β kleiner war als α und während der Krümmung immer kleiner geworden ist (β'). — Die Zone I ist aus zwei Gründen viel schwächer gekrümmt als II; zuerst deshalb, weil ihre Verlängerung obwohl fortdauernd (im Gegensatz zu III), doch viel langsamer gewesen ist als bei II; noch mehr musste aber die Zunahme der Krümmung von I durch ihren kleinen Ablenkungswinkel vermindert werden. Schon in Folge der im Zustand *A* eingetretenen Krümmung von III und II ist die Zone I beträchtlich schief abwärts gerichtet worden, ihr Ablenkungswinkel γ ist viel spitzer als β und α; die Wachsthumsdifferenz ihrer Ober- und Unterseite, also ihre Krümmung konnte in dieser Lage durch die Gravitation nur viel schwächer als bei II sich steigern; noch mehr aber wurde die weitere Krümmung von I dadurch beeinträchtigt, dass durch die energische Krümmung von II die Zone I ganz passiv in eine Lage gebracht worden ist, die sich der senkrechten immer mehr nähert, so dass der krümmende Einfluss der Schwere bei I in dem Grade abnimmt, wie die Krümmung von II steigt.

Nehmen wir nun an, in dem Zustand *B* sei Zone III und II ganz ausgewachsen; sie behalten deshalb ihre gewonnene Krümmung. Zone I dagegen wächst weiter und kann in Folge dessen sich auch noch weiter krümmen; allein der Einfluss der Gravitation ist schon in dem Zustand *B* sehr schwach, weil der Winkel γ' bereits schon klein geworden ist; er wird aber bei weiterer Krümmung immer kleiner, und weil er kleiner wird, nimmt auch die krümmende Wirkung der Schwere immer mehr ab. Streng genommen, kann also das fortwachsende Ende der Wurzel niemals wirklich grade und senkrecht werden, sondern nur der Verticalen sich asymptotisch nähern.

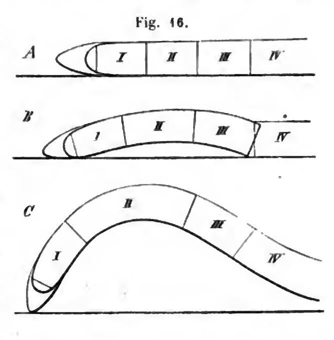
Bei den in lockerer Erde wachsenden Wurzeln ist diess oft wirklich der Fall, wenn sie nicht etwa durch Nutationen oder Hindernisse im Boden unregelmässige Formen annehmen; das selbst 10—15 Cm. weit hinabgewachsene Ende ist noch nicht vollkommen senkrecht; von der Stelle der stärksten Krümmung ausgehend sieht das vordere so stark verlängerte Stück der Wurzel einer Parabel sehr ähnlich. Bei den in Luft und Wasser sich krümmenden Wurzeln aber kommt noch eine andere Ursache dazu, welche es hindert, dass die geotropische Krümmung endlich zur senkrechten Richtung des Endes führe; diese Ursache liegt in dem nachträglichen Wachsthum der gekrümmten Unterseite, wodurch die anfängliche Krümmung theilweise ausgeglichen abgeflacht wird; dabei wird die fortwachsende vordere Region gehoben, die so herbeigeführte Vergrösserung ihres Ab-

lenkungswinkels (man vergleiche die punktirten Linien bei *B*) müsste nun dahin führen, dass die vordere Region immer wieder mit stärkerer Krümmung abwärts ginge; das geschieht aber gewöhnlich nicht, wie oben gezeigt wurde; die in Luft und Wasser wachsenden Wurzeln, nachdem sie sich anfangs kräftig gekrümmt haben, verflachen nicht nur ihre ursprüngliche Krümmung, sondern verlieren auch in dem vorderen Theile die Fähigkeit sich weiter zu krümmen, sie verhalten sich dann wie Nebenwurzeln der ersten Ordnung. — Die in der Erde wachsende Wurzel kann ihre anfangs entstandene Krümmung später nicht abflachen, weil die Erde die entsprechende Bewegung des vorderen Stückes hemmt; es kommt aber, wie es scheint, noch eine andere Krümmungsursache in's Spiel, welche die geotropische Krümmung unterstützt, nämlich die stärkere Reibung, welche die concave Seite der Wurzel an den Erdtheilen erfährt. Wie diese Reibung zu Stande kommt, wird man begreifen, wenn man annimmt (was freilich nicht möglich ist), die Wurzel Fig. 15 *A* behielte ihren Krümmungsradius und verlängerte sich in der durch die punktirte *B* gegebenen Form; dann wäre die Reibung auf allen Seiten nahezu die gleiche; allein so wächst die Wurzel eben nicht; sondern indem sie sich verlängert, verkürzt sich der Krümmungsradius jedes wachsenden Theils und es ist ähnlich, als ob die Wurzel aus der Lage der punktirten Linien in die Lage der ausgezogenen in *B* sich krümmte; dabei muss nothwendig die concave Seite einen stärkeren Druck und dem entsprechend eine stärkere Reibung an den Erdtheilen erfahren, als die convexe. Da nun aber, wie oben gezeigt wurde, eine an einem festen Körper mit Reibung hinwachsende Wurzel sich ihm anzuschmiegen, sich um ihn zu krümmen sucht, so wird auch der beschriebene Vorgang in der Erde die geotropische Krümmung unterstützen müssen.

Betrachten wir nun ebenso die Krümmungen einer auf horizontaler Glasplatte festgelegten Wurzel Fig. 16 *A*. Das verschiedene Längenwachsthum der Ober- und Unterseite bewirkt hier in derselben Weise wie vorhin die Krümmung, die anfangs einem Kreisbogen ähnlich ist; während aber bei der Krümmung in Luft und Wasser, der Hauptsache nach auch in lockerer Erde, die Spitze frei ist und abwärts gestossen wird, trifft sie hier auf unbesiegbaren Widerstand; dieser letztere wirkt aber so, als ob man die Wurzel *A* in Fig. 15 an ihrer Spitze soweit aufwärts stiesse, bis diese mit dem Stück IV au niveau liegt; wäre das wachsende sich krümmende Stück sehr biegsam, so würde bei dieser Hebung der Spitze die Krümmung fast oder ganz ausgeglichen jedenfalls erheblich abgeflacht werden. Das geschieht aber nicht oder nur in unerheblichem Grade, weil hinter der sich krümmenden Region eine biegsamere und weniger elastische Stelle der Wurzel liegt; die Biegung erfolgt daher bei der Hebung der Wurzelspitze, oder was dasselbe bedeutet, indem diese auf der Unterlage wie Fig. 16 *B* sich aufstemmt, hinter der geotropisch gekrümmten Region;

es ist dieses Verhalten und die Art der dabei entstehenden Spannung auf Ober- und Unterseite in Fig. *B* dadurch ausgedrückt, dass man die Figur der geotropisch gekrümmten Region so gezeichnet hat, als ob sie durch einen Schnitt von der dahinterliegenden abgetrennt wäre; die Aufstemmung der Spitze bewirkt hinter der Zone III eine Zusammendrückung auf der Oberseite, eine Zerrung auf der Unterseite, was an der Wurzel (Fig. 13) als eine hinter der wachsenden Region liegende aufwärts concave Biegung sich geltend macht.

Fig. 16.

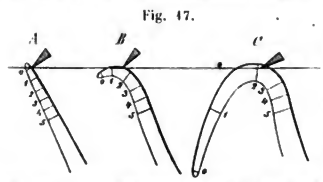


Während nun bei der in Luft, Wasser, lockerer Erde wachsenden Wurzel die vorderen Zonen durch die Krümmung der hinteren sofort abwärts gestossen werden und so in eine für die weitere Krümmung immer ungünstigere Lage kommen, ist es hier anders. Die noch wachsende Zone II, wenn auch gebogen, liegt doch noch so, dass ihr mittlerer Theil rechtwinkelig zur Schwere, ihre anderen Theile nur wenig anders gerichtet sind; da sie nun rasch wächst und zugleich unter sehr günstigen Winkeln von der Schwere getroffen wird, so krümmt sie sich energischer, ihr Krümmungsradius wird kleiner als wenn die Wurzelspitze keinen Widerstand findet (II *C*); dadurch kommt nun auch hier die vordere noch wachsende Zone I in eine für ihre eigene Krümmung immer ungünstiger werdende Lage. Bei längerer Dauer dieser Verhältnisse aber ändern sich die Bedingungen für jede Zone in verschiedener Weise. Zunächst treten III und dann II in den Zustand des Ausgewachsenseins über, sie werden biegsamer; in der ganzen geotropisch gekrümmten Region aber besteht durch die Aufstemmung der Spitze das Streben, die Krümmung abzuflachen; in dem Grade nun, wie die älteren Zonen auswachsen, geben sie diesem Streben nach, flachen sich ab, die vorher an der Grenze von III und IV gelegene Concavität der Oberseite schreitet weiter gegen die Spitze vor; dazu kommt, dass die Zellen der concaven Unterseite langsam nachwachsend, die geotropische Krümmung ohnehin abzuflachen suchen; beide Vorgänge schreiten von hinten nach vorn an der Wurzel fort. Unterdessen aber rückt auch die am raschesten wachsende Region in die vordere Partie von II, dann in die hintere von I; an diesen Stellen muss jetzt die Krümmung zunehmen, der Radius kleiner werden; dadurch wird die Spitze immer mehr senkrecht gestellt, so wird die in Fig. 16 *C* dargestellte Form der Krümmung erzielt: von der Spitze an steigt die gekrümmte Wurzel steil aufwärts, um dann nach

hinten sich langsam abzuflachen. In ihrem verwickelten Zusammenwirken streben diese z. Th. im Wesen des Geotropismus, z. Th. in der durch die Aufstemmung der Spitze bewirkten Spannung, z. Th. in der mit dem Alter veränderlichen Biegsamkeit und Elasticität liegenden Ursachen dahin, die stärkste Krümmung der Wurzel in eine der Spitze nähere mit ihr vorrückende Region zu verlegen, während bei der freien Wurzel die zuerst entstandene stärkste Krümmung ihren Ort behält, die Spitze immer grade werdend weiter wächst. In den angegebenen Momenten liegt auch die Ursache davon, dass dünne Wurzeln nicht in Quecksilber eindringen, und dass dickere bei ihrem Eindringen einen Bogen von kleinerem Radius beschreiben als in Wasser oder in Luft.

Die Thatsache, dass eine schief oder geradezu vertical aufgerichtete Wurzel bei der Abwärtskrümmung einen Bogen von kleinerem Radius als eine horizontal gelegte beschreibt, widerspricht nur scheinbar unserem zweiten Satze und bestätigt zugleich den ersten.

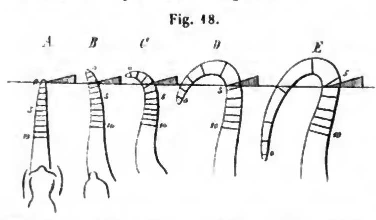
Fig. 17.



Wurzeln von Faba schief aufwärts in Erde abgelegt; *A* ursprüngliche Lage, *B* nach $4^1/_2$ Stunden, *C* nach 24 Stunden.

In Fig. 17 und 18 ist die Form der geotropischen Krümmung einer schief aufwärts und einer umgekehrt vertical gestellten Wurzel (in lockerer Erde) möglichst genau abgebildet, ebenso wie in Fig. 2 und 9 die Krümmung aus horizontaler Lage. Die Wurzel Fig. 17 ist in Zonen von je 2 Mill., die von Fig. 18 in solche von je 1 Mill. eingetheilt.

Fig. 18.



Wurzel von Faba senkrecht aufwärts in Erde gelegt. Die hinter der Marke 10 liegende Region ist noch etwas gewachsen, die Marke 10 daher in *B* emporgestossen; *A* ursprüngliche Lage, *B* nach 4 Stunden, *C* nach 7 Stunden, *D* nach 21 Stunden, *E* nach 28 Stunden.

Betrachten wir zunächst das Verhalten der schief aufgerichteten Wurzel Fig. 17 *A*, so leuchtet sofort ein, dass die älteren Querzonen V, IV (über den Marken 5 und 4) sich bezüglich der Krümmung in einer sehr ungünstigen Lage befinden, denn ihr Wachsthum ist langsam und hört bald auf, zugleich aber bildet ihre Wachsthumsaxe mit der Richtung der Schwere einen kleinen Winkel; beides wirkt dahin, die Krümmung dieser älteren Zonen, bis auf das kaum Merkliche herabzumindern. Die jüngeren Zonen III, II sind zwar betreffs des Ablenkungswinkels anfangs in derselben ungünstigen Lage, die Krüm-

mung kann nur langsam sich geltend machen, was in der That leicht zu beobachten ist, sie wird unter gleichen Verhältnissen 1—2 Stunden später als bei horizontalen Wurzeln bemerklich; dafür aber wachsen diese mittleren Zonen nicht nur rasch, sondern ihr Wachsthum dauert auch länger, als das der älteren, die krümmende Wirkung der Schwere hat also Zeit, sich mehr und mehr geltend zu machen. Dazu kommt aber, verglichen mit der horizontalen Wurzel, ein die Krümmung der aufgerichteten sehr begünstigender Umstand; wenn nämlich eine Zone der horizontalen Wurzel mit freier Spitze sich krümmt, so kommt eben dadurch und sofort jeder ihrer Querschnitte in eine zur Verticalen schiefe Lage, der anfangs rechte Winkel wird ein spitzer und mit zunehmender Krümmung immerfort spitzer, wodurch die krümmende Wirkung der Schwere beeinträchtigt wird (Fig. 15). Beginnt dagegen die rasch wachsende Zone einer aufgerichteten Wurzel sich zu krümmen, so wird der anfangs sehr spitze Winkel, den sie mit der Verticalen bildet, zunächst immer weniger spitz; dann sogar ein Rechter; dadurch wird die betreffende Zone von Stunde zu Stunde in eine für die Krümmung zunehmend günstigere Position gebracht (Fig. 17 *B*, 1, 2); der Einfluss der Schwere auf die Wachsthumsdifferenz der Ober- und Unterseite, also auf die Krümmung wird auf diese Weise nicht nur verlängert, sondern in Folge der Krümmung selbst gesteigert; der mittlere Krümmungsradius wird unter diesen Verhältnissen nothwendig kleiner werden, als wenn die Wurzel von Anfang an horizontal gelegen hätte. Sind die vorderen Zonen auf diese Weise aus der schief aufgerichteten in die horizontale Lage übergegangen, dann treten dieselben Verhältnisse bei weiterem Wachsthum ein, wie bei einer horizontalgelegten Wurzel, wie Fig. 17 *B*, *C* erkennen lässt.

Es leuchtet ein, dass einerseits die Verminderung der Krümmung der älteren fast ausgewachsenen Zonen, anderseits die Begünstigung der Krümmung an den rasch und lange Zeit wachsenden jüngeren Zonen um so deutlicher hervortreten muss, je mehr sich die Aufrichtung der Wurzel der umgekehrt verticalen Lage nähert, wie Fig. 18 sofort erkennen lässt. —

Die Frage, was eine Wurzel thun würde, wenn es gelänge, ihre wachsende Region vollständig vertical aufzurichten und sie in dieser Richtung zu erhalten, ist schwer zu beantworten. Bei meinen zahlreichen Experimenten krümmten sich auch die anscheinend ganz vertical gestellten (wie Fig. 18) erst seitwärts, dann abwärts. Ist die Wurzel wirklich genau senkrecht, so fällt jeder Grund zu einer geotropischen Krümmung weg, da ja die Schwere ebenso wie bei einer genau senkrecht abwärts wachsenden Wurzel mit der Wachsthumsaxe parallel und auf allen Seiten derselben gleichartig wirkt. Da nun bei sehr zahlreichen Versuchen gewiss einzelne Wurzeln genau senkrecht aufwärts zu liegen kommen, so müssten doch diese wenigen aufwärts fortwachsen; wenn diess nun nicht geschieht, wie die Erfahrung zeigt, so müssen noch andere Ursachen mitwirken; die

wichtigste derselben, vielleicht die einzige, mag in der freiwilligen Nutation der Wurzel liegen; auch eine genau senkrecht aufgerichtete Wurzel wird bald auf der einen, bald auf der anderen Seite ein wenig stärker wachsen und so eine Nutationskrümmung machen; ist diese auch noch so gering, so wirkt die Schwere nicht mehr parallel mit der Axe und der Geotropismus tritt in Action.

Ich habe vielfach Keimpflanzen umgekehrt vertical in feuchte Erde gesteckt und über die aufrechte, anscheinend senkrechte Wurzel eine oben offene Glasröhre gestülpt, die nur geringen Spielraum für etwaige Bewegungen der Spitze gewährte. Die Wurzeln wuchsen auf diese Art nicht selten 4—6 Cm. aufwärts in der Röhre fort; sie suchten sich zu krümmen erfuhren aber sofort an der Spitze und dem convex werdenden Theil den Gegendruck der Glaswand; zuweilen gelang es einer Wurzel ihre Spitze in dem engen Raum, den sie ohnehin fast ausfüllte, doch abwärts zu richten und dann abwärts fortzuwachsen, soweit es der enge Raum ermöglichte; gewöhnlich aber schob sich das scharf gekrümmte Ende an der Glaswand hinauf, indem die Krümmung sich mit dem Auswachsen des gekrümmten Theils abflachte und ausglich, während immer wieder jüngere Theile die Krümmung versuchten. Combinirt man, was oben über das Verhalten horizontaler Wurzeln auf fester Unterlage und über die schief aufgerichteten gesagt, so gelingt es, sich dieses Verhalten der in Glasröhren aufgerichteten Wurzeln hinreichend klar zu machen.

Nachträglich ist noch darauf hinzuweisen, dass die in Fig. 17 und 18 sichtbare, wenn auch schwache Rückwärtskrümmung hinter der wachsenden Region ebenso wie die entsprechende Erscheinung bei Fig. 9 durch die Anstemmung der Wurzelspitze an die von ihr zu verdrängenden Bodentheilchen bewirkt wird; es ist die schon bei Fig. 13 und 16 besprochene Erscheinung, nur in geringerem Grade ausgebildet, weil die lockere Erde nur unbedeutenden Widerstand leistet.

§. 29. **Wachsthum der Ober- und Unterseite während der geotropischen Krümmung.**[1]) Rein geometrisch betrachtet könnte die Krümmung der Wurzel auf sehr verschiedene Art zu Stande kommen: entweder dadurch, dass die Unterseite sich verkürzt oder die Oberseite allein sich verlängert oder beides gleichzeitig eintritt; oder sie könnte dadurch bewirkt werden, dass beide Hälften sich zwar verlängern, die obere aber rascher und stärker als die untere; in diesem Fall entsteht dann die weitere Frage, wie verhält sich diese Verlängerung beider Seiten zu der einer normal abwärts wachsenden Wurzel; es könnte ja sein, dass Ober-

1) Vergl. Wigand, Botan. Untersuchungen. Braunschweig 1854 p. 160. — Frank, Beiträge p. 41. — Hofmeister, Botan. Zeitung 1868 p. 277. — Müller, ebenda 1869 p. 390, 405. — Ciesielski l. c. p. 27.

und Unterseite langsamer wachsen, aber in verschiedenem Grade; es könnte jedoch auch geschehen, dass die Oberseite noch stärker wächst, als eine normal abwärts gerichtete Wurzel, während die Unterseite im Wachsthum gehindert ist.

Die Beobachtung zeigt nun, dass die geotropische Krümmung der Wurzel in der That auf die zuletzt genannte Art bewirkt wird: das Wachsthum der Oberseite ist ebenso kräftig oder noch kräftiger als wenn die Wurzel ihre normale Lage hätte; die Unterseite dagegen ist in ihrem Wachsthum immer erheblich beeinträchtigt im Vergleich mit dem einer normal abwärts wachsenden Wurzel. Die sich abwärts krümmende Wurzel verhält sich also grade entgegengesetzt einem sich aufwärts krümmenden Stengel, der, wie ich früher (2tes Heft p. 193) gezeigt habe, auf der Unterseite stärker, auf der Oberseite schwächer wächst, als es bei aufrechtem Stand geschehen würde. [1])

Schon Frank (l. c. p. 41) hatte sich bezüglich der geotropischen Wurzelkrümmung die Frage vorgelegt, ob »die Oberseite die normale Wachsthumsintensität einhält und die Unterseite hinter derselben zurückbleibt, oder ob die Unterseite mit der normalen Intensität weiterwächst, während die Oberseite ihr Wachsthum beschleunigt«. — »Diese Frage sei jedoch, fährt er fort, nicht zu beantworten, weil man ja an dem gekrümmten Wurzelende nicht erfahren kann, wie es gewachsen sein würde, wenn es die grade Richtung eingehalten hätte, und bei Vergleichungen grader Wurzelenden von Pisum sativum komme man bald zu der Ueberzeugung, dass die Längen der Rindezellen in gleichen Entfernungen von der Wurzelspitze bei verschiedenen Wurzeln verschieden sind«. — So liess Frank eine der wichtigsten Fragen, welche die mechanische Erklärung der geotropischen Krümmung vorbereiten können, unentschieden. Zu ihrer Beantwortung that aber Ciesielski (l. c. p. 26) den ersten Schritt, indem er zeigte, dass bei den aus aufgerichteter Lage scharf abwärts gekrümmten Wurzeln von Pisum die Zellen der Oberseite etwas länger, die der Unterseite viel kürzer sind, als die Zellen von gleicher Lage unter der Epidermis des weiter fortgewachsenen senkrechten und bereits ganz ausgewachsenen Stückes derselben Wurzel. Er giebt beispielsweise an, dass die Zellen in normaler Lage an dem unterhalb der Krümmung liegenden jüngeren Stück [2]) die Länge 99 Micromill. hatten, während die an der convexen Seite des ge-

1) Der Stengel von Hippuris enthält, wie die Wurzel, einen axilen Strang umgeben von Rindenparenchym; dennoch krümmt er sich geotropisch aufwärts, hier tritt der Gegensatz des positiven und negativen Geotropismus bei ähnlichem anatomischem Bau besonders deutlich hervor.

2) Zur Vergleichung hätten jedoch auch die Zellen des älteren hinter der Krümmung liegenden Stückes ebenfalls gemessen und das Mittel aus ihrer und der obigen Länge gezogen werden müssen; dass diess durchaus nöthig, werden meine Messungen zeigen.

krümmten Theils 125, die auf der concaven aber nur 20 Micromill. maassen. — Ciesielski fand auch in radialer und tangentialer Richtung die Zellen der convexen Seite stärker, die der concaven schwächer gewachsen als an dem graden Stück. Da ich mich hier ausdrücklich einstweilen auf das Längenwachsthum beschränke, so will ich nur im Vorbeigehen bemerken, dass ich bei sehr stark gekrümmten dicken Wurzeln von Faba und Aesculus eine Beeinträchtigung des Dickenwachsthums (in radialer Richtung) an der unteren Rinde nicht beobachtet habe, dass dagegen zuweilen die concave Rinde erheblich dicker ist als die convexe, so dass der axile Strang innerhalb der gekrümmten Region excentrisch, der convexen Seite näher, liegt; in einem Falle war diese Differenz zu Gunsten der unteren Rinde so beträchtlich, dass sie sich an den einzelnen Zellen leicht messen liess; die unmittelbar unter der Epidermis liegenden Zellen hatten einen radialen Durchmesser von 13—15 Theilstrichen auf der concaven, einen solchen von 10 Theilstrichen auf der convexen Seite, und ähnlich verhielten sich die weiter nach innen liegenden Zellschichten; bei einer sehr scharf gekrümmten Wurzel von Aesculus verhielt sich der radiale Durchmesser der äussersten Parenchymzellen auf der convexen und concaven Seite sogar wie 6,6 zu 10,1.

Ciesielski fasst die Ergebnisse seiner Messungen in folgendem Satz zusammen: »das mikroskopische Bild überzeugt uns mit voller Bestimmtheit, dass die an der convexen Seite gelegenen Zellen eine abnorme Streckung nach allen Richtungen erlitten und dadurch die Zellen der concaven Kante nicht nur an der entsprechenden Vergrösserung gehindert, sondern sogar comprimirt haben, wie diess die vielfachen Falten und Unregelmässigkeiten der concaven Kante andeuten«. Ich zweifle an dieser Compression und Faltenbildung in gewissen Fällen umsoweniger, als ich bereits früher nachgewiesen habe (2tes Heft p. 205), dass dasselbe auch bei der Aufwärtskrümmung der Grasknoten auf der concaven Oberseite stattfindet; wenn man daraus aber folgern wollte, dass die concav werdende Seite der Wurzel sich bei der Krümmung ganz passiv verhält und von der allein wachsenden Oberseite einfach zusammengedrückt und am Wachsthum gehindert werde, so ginge diess viel zu weit. Vielmehr zeigt die Beobachtung, dass auch die Unterseite einer sich krümmenden Wurzel gewöhnlich wächst, nur viel schwächer, als die grade Wurzel; es mag diess in einzelnen Fällen, zumal bei aufgerichteten und sehr scharf gekrümmten Wurzeln so weit gehen, dass das Wachsthum der concaven Seite unmerklich wird und die von Ciesielski beobachteten Erscheinungen eintreten, aber jedenfalls ist diess nur ein extremer Fall, der nicht die Regel darstellt, ebenso wie das entsprechende Verhalten der Grasknoten nur einen extremen Fall der Aufwärtskrümmung darstellt, deren gewöhnlicher Verlauf bei Internodien in einer Schwächung des Längenwachsthums der concaven, in einer Stärkung desselben auf der convexen Seite besteht;

und so ist es auch bei den Wurzeln. — Die Ansicht, als ob die Ursache der Wurzelkrümmung vorwiegend oder allein in dem verstärkten Wachsthum der convexen Seite liege, ist nicht richtig, denn ich werde zeigen, dass zuweilen die Oberseite nur wenig stärker wächst als eine normale Wurzel, während die kräftige Krümmung wesentlich durch das sehr geschwächte Wachsthum der Unterseite bewirkt wird.

Ich habe die hier behandelte Frage nach zwei Methoden zu beantworten gesucht; einmal durch Vergleichung einer sich krümmenden Wurzel mit einer ihr gleichen graden, sodann durch Messung der Zellen an der gekrümmten Stelle und an den graden älteren und jüngeren Partien an derselben Wurzel.

a. Vergleichung einer gekrümmten mit einer graden Wurzel. Von je zwei gleichen Keimpflanzen von Faba wurde die eine horizontal oder fast vertical aufgerichtet, die andere vertical abwärts dicht neben einander in sehr lockere Erde hinter eine dünne Glimmerwand (Fig. 1) gelegt, nachdem sie mit Marken von je 2 Mill. Entfernung versehen waren. Die Krümmungsradien und Bogenlängen werden mittels dünner Glimmerplättchen mit eingeritzten Kreistheilungen (Fig. 2) gemessen und berechnet.

Erstes Beispiel. Eine Wurzel horizontal, die andere normal senkrecht abwärts; 14 Stunden nach Beginn des Versuchs (bei 17,5—18° C.) sind bei der horizontalen die 4 vorderen Zonen (anfangs 8 Mill. lang) gewachsen und gekrümmt; Bogen kreisförmig, 135° umfassend.

Zuwachs der vier vorderen Zonen
auf der convexen Seite = 10,8 Mill.
„ „ concaven „ = 6,1 „
der Mittellinie (Axe der Wurzel) = 8,4 „

der graden Wurzel = 10,5 „

Beschleunigung der convexen Seite = 0,3 Mill.
Verlangsamung der concaven Seite = 4,4 „
Verlangsamung d. Mittellinie d. gekrümmten Stelle = 2,1 „

Zweites Beispiel: ebenso behandelt; nach 14 Stunden beschreibt die horizontalgelegte Wurzel einen Bogen von 98°, der einem Kreisbogen sehr genau gleicht; gewachsen und gekrümmt sind die ersten 4 Zonen.

Zuwachse der vorderen 4 Zonen
auf der convexen Seite = 8,7 Mill.
„ „ concaven „ = 5,3 „
der Mittellinie = 7,0 „

der graden Wurzel = 8,5 „

Beschleunigung der convexen Seite = 0,2 Mill.
Verlangsamung der concaven Seite = 3,2 ,,
Verlangsamung d. Mittellinie d. gekrümmten Stelle = 1,5 ,,

Drittes Beispiel. Eine Wurzel fast vertical aufgerichtet, die andere normal abwärts; nach 14 Stunden (bei 15,5—16° C.) sind die drei vorderen (anfangs 6 Mill. langen) Querzonen gekrümmt; fast genau ein Kreisbogen von 160°.

Zuwachse der vorderen 3 Zonen
auf der convexen Seite = 5,8 Mill.
,, ,, concaven ,, = 2,8 ,,
der Mittellinie = 4,3 ,,

der graden Wurzel = 5,5 ,,

Beschleunigung der convexen Seite = 0,3 Mill.
Verlangsamung der concaven ,, = 2,7 ,,
Verlangsamung d. Mittellinie d. gekrümmten Stelle = 1,2 ,,

Viertes Beispiel, ebenso behandelt; nach 14 Stunden beschreiben die drei vorderen Zonen[1]) einen fast kreisförmigen Bogen von 160°.

Zuwachse der vorderen drei Zonen
auf der convexen Seite = 6,7 Mill.
,, ,, concaven ,, = 4,2 ,,
der Mittellinie = 5,5 ,,

der graden Wurzel = 6,0 ,,

Beschleunigung der convexen Seite = 0,7 Mill.
Verlangsamung der concaven ,, = 1,8 ,,
Verlangsamung d. Mittellinie d. gekrümmten Stelle = 0,5 ,,

Die Uebereinstimmung der Ergebnisse dieser Versuche ist, wenn auch nicht in den einzelnen homologen Zahlen, so doch im Hauptergebniss so gross, dass ich nicht versäumen will hervorzuheben, dass diese Versuche nicht aus anderen ausgewählt, sondern die einzigen in dieser Richtung gemachten sind; die Uebereinstimmung dieser Versuche unter sich und mit dem Ergebniss der hier noch folgenden Messung zeigt, dass die individuellen Verschiedenheiten hier nur in sehr untergeordnetem Grade sich geltend gemacht haben; vorwiegend wohl eine Folge der äusserst sorgfältigen Auswahl der Keimpflanzen und der kurzen Dauer der Versuche.

---

1) Auch die vierte Zone war erheblich gewachsen und deutlich gekrümmt, doch war ihr Radius zu gross, als dass man sie mit in den Bogen der drei vorderen hätte aufnehmen können, wenn dieser als Kreisbogen betrachtet werden sollte.

Die wichtigsten Ergebnisse dieser Messungen sind:

1) das Wachsthum der convexen Seite der sich krümmenden Wurzel ist nur wenig stärker als das der graden;

2) das Wachsthum der concaven Seite der sich krümmenden Wurzel ist viel langsamer als das der graden;

3) daher ist das Wachsthum der Mittellinie der sich krümmenden Wurzel (oder das Gesammtlängenwachsthum derselben) geringer als das der graden.

b. Vergleichung der Zellenlängen der gekrümmten Stelle mit der der nicht gekrümmten Stellen. Wenn aus dem Längenverhältniss der Zellen innerhalb und ausserhalb der gekrümmten Stelle ein Schluss auf die Förderung und Verlangsamung des Wachsthums gezogen werden soll, so muss vorher festgestellt werden, dass bei der Krümmung zumal auf der convexen Seite nicht etwa nachträgliche Zelltheilungen eintreten, durch welche die Länge der zu messenden Zellen natürlich verkürzt werden würde. Zur Feststellung der Thatsache, genügt es, einerseits das Aussehen der Zellen während der noch stattfindenden und nach vollendeter Krümmung zu prüfen, anderseits aber durch Messung zahlreicher Zellen die mittlere Länge derselben an der convexen Seite zu bestimmen und diese mit der mittleren Länge zu vergleichen, welche die Zellen an derselben Stelle haben würden, wenn die Krümmung nicht stattgefunden hätte. Das Letzte wird aber dadurch erreicht, dass man die mittlere Länge zahlreicher Zellen in dem älteren hinter der Krümmung, sowie in dem jüngeren, vor der Krümmung liegenden Stück bestimmt und aus beiden Werthen das Mittel zieht. Dieses Verfahren ist deshalb nöthig, weil die Zellen vom oberen Theil der Wurzel nach vorn hin an ausgewachsenen Stücken zunehmen; eine Vergleichung der gekrümmten Stelle mit dem älteren graden Stück allein würde daher eine zu starke Vergrösserung der convexen Zellen, eine solche mit dem jüngeren graden Stück allein eine zu geringe Förderung der convexen Seite ergeben (wie bei Ciesielski s. oben geschehen ist). Um nun diese Werthe bestimmen zu können, muss man Wurzeln benutzen, die schon vor Beginn des Versuches etwa 2—3 Cm. lang geworden sind; diese dann horizontal oder schief aufgerichtet der geotropischen Wirkung aussetzen und sie nachher so lange fortwachsen lassen, bis vor der Krümmung ein jüngeres senkrechtes Stück von wenigstens 2—3 Cm. Länge liegt, damit man sicher weiss, dass die obere Region dieses Stückes vollkommen ausgewachsen ist. — Da Messungen dieser Art unmöglich sehr genau sein können, muss man die Erscheinungen so zu gestalten suchen, dass auch minder genaue Messungen einen klaren Einblick gewähren; diess geschieht durch Benutzung recht dicker Wurzeln, die man nöthigt sehr scharfe Krümmungen zu machen, indem man sie fast senkrecht aufgerichtet in lockerer Erde wachsen lässt. Je dicker die gekrümmte Stelle und je schärfer die Krümmung ist, desto grösser ist auch

die Längendifferenz der convexen und concaven Seite und ihrer Zellen, desto weniger hat also ein kleiner Fehler in den Längenmessungen bezüglich der Differenzen, um die es sich hier handelt, zu bedeuten.

Die Zellenmessungen wurden mit einem Hartnack'schen Ocularmicrometer gemacht, dessen Theilstriche nach meiner Bestimmung nahezu gleich 0,005 Mill. angeben.[1]) Ich gebe im Folgenden, da es sich nur um relative Werthe handelt, die Zahl der Theilstriche an, durch deren Multiplication mit 0,005 man diese also in Millimeter umrechnen kann, wenn es nöthig sein sollte.

Die gemessenen Zellen waren immer die der äussersten Parenchymschicht unmittelbar unter der Epidermis; da nun die Epidermis selbst sehr dünn ist, so müssten, wenn keine nachträglichen Theilungen eintreten, die Zellenlängen der convexen und concaven Seite sich fast genau verhalten wie die Krümmungsradien dieser Seiten; dass diess nicht immer genau genug zutrifft, rührt vorwiegend von der Unmöglichkeit her, die Krümmungsradien sehr genau zu bestimmen. Am genauesten erhielt ich diese dadurch, dass ich die aus der gekrümmten Stelle herausgeschnittene dünne Medianplatte, nachdem an ihr die Zellen gemessen waren, auf dem Objectträger unter sehr dünnem Deckglas liegen liess und auf dieses nun das Glimmerplättchen mit den concentrischen Kreisen auflegte. — Trotz der angedeuteten Ungenauigkeit zeigte die Vergleichung des Verhältnisses der Krümmungsradien mit dem der Zellenlängen beider Seiten doch evident, dass keine nachträglichen Theilungen während der Krümmung stattgefunden haben; wäre diess der Fall, so würde man es sicherlich auch an dem Aussehen der Zellen und der Lage der neuen Wände bemerken müssen, was nicht der Fall ist.

Der Uebersichtlichkeit wegen bezeichne ich
- mit R den Krümmungsradius der convexen,
- mit r den der concaven Seite;
- mit x die Länge der Zellen auf der convexen,
- mit c die der concaven Seite;
- mit m die mittlere Zellenlänge des gekrümmten Stückes,
- mit m' die des graden Stückes oberhalb und unterhalb der Krümmung.

Vicia Faba. I.

R = 5,3 Mill. $r : R = 1 : 1,9$.
r = 2,8 ,,

1) Die von Hartnack beigelegte Tabelle giebt irrthümlich nur 0,0032 Mill. an

Zellenlängen[1])

an Krümmung

convex (x) = 41,7 $c : x = 1 : 1,6$.

concav (c) = 26,3

Mittel (m) = 34,0

am graden Stück

oberhalb = 40,0

unterhalb = 44,6

Mittel (m') = 42,3

$x - m' = -0,6$

$m' - c = 16,0$

$m < m'$.

Vicia Faba. II.

R = 6,4 Mill. $r : R = 1 : 1,8$

r = 3,5 ,,

Zellenlängen

an Krümmung:

convex (x) = 28,3 $c : x = 1 : 1,8$

concav (c) = 15,0

Mittel (m) = 21,6

am graden Stück:

oberhalb = 23,2

unterhalb = 26,1

Mittel (m') = 24,6

$x - m' = 3,7$

$m' - c = 9,6$

$m < m'$.

Aesculus Hippocastanum I.

R = 7 Mill. $r : R = 1 : 2,4$

r = 3,2 ,,

Zellenlängen

an der Krümmung:

convex (x) = 27,0 $c : x = 1 : 2,0$

concav (c) = 13,3

Mittel (m) = 20,1

---

1) Jede Zahl, welche ich als Zellenlänge aufgeführt, ist das arithmetische Mittel aus wenigstens 20, oft aus 40 Messungen.

am graden Stück:

oberhalb = 16

unterhalb = 23

Mittel (m') = 19,5

$x - m' = 7,5$

$m' - c = 6,2$

$m > m'$

Aesculus Hippocastanum II.

$R = 5,2$ Mill. $r : R = 1 : 3,0$

$r = 1,7$ „

Zellenlängen

an der Krümmung

convex (x) = 28,1 $c : x = 1 : 3,1$

concav (c) = 9,3

Mittel (m) = 19,1

am graden Stück

oberhalb = 19,0

unterhalb = 21,2

Mittel (m') = 20,1

$x - m' = 8,8$

$m' - c = 10,8$

$m < m'$

Die für unseren Zweck wichtigsten Folgerungen aus diesen vier Beispielen sind:

1) Das Wachsthum der convexen Seite ist bei Tabelle II nur wenig stärker als das Mittel der graden Stücke, bei Faba I sogar ein wenig schwächer, was wohl auf einem Beobachtungsfehler beruht; bei Aesculus I und II ist es auf der convexen Seite bedeutend stärker als das Mittel des der graden Stücke (vergl. die Werthe $x - m'$).

2) Das Wachsthum der concaven Seite ist überall viel schwächer als Mittel der graden Stücke (vergl. die Werthe $m' - c$).

3) Das Mittel der Zuwachse auf der convexen und concaven Seite der Krümmung ist in drei Fällen etwas kleiner, als das Mittel der Zuwachse an den graden Stücken; nur bei Aesculus I ist $m > m'$, die Differenz aber so klein, dass sie als innerhalb der Beobachtungsfehler liegend angenommen werden kann.

Im Ganzen stimmen also die Ergebnisse dieser Beobachtungsmethode (zumal soweit es die nach beiden Methoden beobachtete Faba betrifft) mit denen der ersten so gut überein, als sich bei der Unsicherheit derartiger Messungen nur erwarten lässt.

Als das für das Wesen der geotropischen Krümmung wichtigste Resultat darf man daher den bereits im Eingang des § ausgesprochenen Satz an-

sehen, der sich auch so aussprechen lässt: bei der geotropischen Krümmung wachsen gewöhnlich alle Zellen innerhalb des sich krümmenden Stückes, aber um so langsamer je näher sie der concav werdenden Unterseite liegen; von der convexen Seite ausgehend, wo die Zellen vollkommen ausgebildet, und sehr saftreich sind, findet man bis zur concaven, wo sie jungen unausgebildeten protoplasmareichen Zellen gleichen, alle Uebergänge; indem die Ausbildung der Zellen der Unterseite sehr erheblich beeinträchtigt wird, können die der Oberseite eine mehr oder minder beträchtliche Ueberverlängerung erfahren. Einige noch zu vervollständigende Beobachtungen (s. oben) weisen darauf hin, dass die Retardation des Längewachsthums auf der Unterseite mit einer Steigerung, die Beschleunigung des Längenwachsthums auf der Oberseite mit einer Beeinträchtigung des Wachsthums in radialer Richtung verbunden ist; die Zellen der concaven Seite machen auf den Beobachter den Eindruck als wären sie in der Längsrichtung comprimirt, daher in der Querrichtung erweitert, die der convexen Seite dagegen, als wären sie in der Längsrichtung gezerrt und dabei verengert; dabei stehen die Querwände der Zellen der concaven Rinde radial, die der convexen Seite sind schief und prosenchymatisch zugespitzt, wie im Parenchym étiolirter Stengel.

Inwiefern nun diese noch unvollständigen Daten dazu beitragen können, die Wirkungsweise der Schwere auf das Wachsthum erkennen zu lassen, wird erst dann sich zeigen, wenn die entsprechenden Beobachtungen für die Aufwärtskrümmung negativ-geotropischer Organe gemacht sind und genaue Vergleichungen mit den Vorgängen bei der Krümmung der Ranken und bei den heliotropischen Krümmungen vorliegen.

§. 30. Geotropismus gekappter und gespaltener Wurzeln. Schon in §. 21 habe ich darauf hingewiesen, dass bei der Neigung gekappter Wurzeln, sehr starke Nutationen innerhalb der wachsenden Region zu machen, es schwierig zu erkennen ist, ob sie, wie Ciesielski behauptet, dem Einfluss der Schwere nicht mehr gehorchen, ihren Geotropismus also verloren haben; ich hob aber auch hervor, dass die Gesammtheit zahlreicher Beobachtungen an horizontal gelegten Wurzeln, deren Vegetationspunkt weggeschnitten ist, mich zu dem Ergebniss führt, dass ihr Geotropismus noch vorhanden ist, aber durch die kräftigen Nutationen oft verdeckt wird.

Ebenso sind auch Wurzeln, welche bei 2—4 Cm. Länge in der Nähe ihrer Basis von der Keimpflanze abgeschnitten worden sind, noch geotropisch, sofern sie überhaupt wachsen. [1])

An dicken Fabawurzeln machte ich Quer-Einschnitte 3—5 Mill. über der Spitze, die bis zu dem axilen Strang vordrangen; die horizontal ge-

---

1) Vergleiche jedoch Frank, Bot. Zeitung 1868 p. 564.

legten Wurzeln krümmten sich in gewohnter Weise abwärts, gleichgiltig ob der Einschnitt oben oder unten lag; diess Alles stimmt mit dem früher angegebenen Verhalten des Wachsthums, dass dasselbe in jeder Querscheibe unabhängig von den davor und dahinter liegenden Querscheiben sich vollzieht, wenn nur die Rinde ihre zum Wachsthum nöthigen Stoffe in radialer Richtung aus dem Strang bezieht, der sie seinerseits aus Reservestoffbehältern der Keimpflanze durch die Länge der Wurzel hinleitet.

Bezüglich der längsgespaltenen Wurzeln haben schon Frank und Ciesielski [1]) gezeigt, dass die Längshälften noch geotropisch sind, dass aber die Abwärtskrümmung durch das Streben zur Einwärtskrümmung mehr oder weniger verdeckt wird. Liegt die Schnittfläche einer halbirten Wurzel unten, so combinirt sich die Wirkung des Geotropismus mit der Wachsthumsdifferenz des Stranges und der Rinde, beide wirken in gleicher Richtung; liegt die Schnittfläche oben, so wirken beide Krümmungsursachen in entgegengesetztem Sinne und es kommt darauf an, ob der Geotropismus das Einwärtsstreben überwiegt oder nicht (vergl. §. 21).

Eine besonders unbequeme Fehlerquelle bei derartigen Beobachtungen, welche die genannten jedoch unbeachtet liessen, liegt darin, dass bei einer nicht streng symmetrischen Spaltung, die dickere Hälfte, welche einen grösseren Theil des axilen Stranges besitzt, stärker wächst und sich auch stärker einwärts krümmt, als die andere, während man niemals genau weiss, ob die beabsichtigte symmetrische Spaltung auch wirklich gelungen ist. Man kommt daher nur durch Beobachtung sehr zahlreicher gespaltener Wurzeln zu einem sicheren Resultat, welches aber auch nur dann rein hervortritt, wenn die eine Hälfte des gespaltenen Stückes der Wurzel ganz weggenommen wird, weil, wenn beide nebeneinander vorhanden sind, sie sich bei dem Streben zur Einwärtskrümmung gegen einander stemmen, oft an einander vorbeigleiten und so unregelmässige Formen entstehen.

Meine an Faba gemachten Beobachtungen ergaben nun Folgendes:

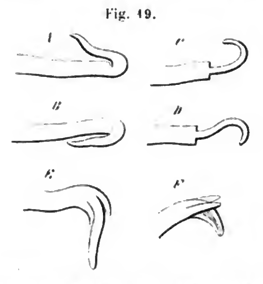
Werden möglichst genau symmetrisch gespaltene Wurzeln nach Wegnahme der einen (5—10 Mill. langen) Hälfte in feuchter Luft horizontal gelegt, so dass die Schnittfläche selbst horizontal (oben oder unten) liegt, so folgen die Hälften allein ihrem Streben zur Einwärtskrümmung, welches aus dem rascheren Wachsthum der Rinde gegenüber dem axilen Strange entsteht. Liegt also die Schnittfläche oben, so krümmt sich die Wurzelhälfte aufwärts (Fig. 19 *A*), liegt sie unten, abwärts (*B*). Der Einfluss der Schwere auf das Wachsthum wird also bis zum Unkenntlichen überwogen, durch die Wachsthumsdifferenz der äusseren und inneren Gewebeschichten. Dass dabei nicht etwa die Verwundung den Geotropismus hindert, folgt ohne weiteres daraus, dass die den Strang enthaltende Mittellamelle einer Wurzel, deren Rinde rechts und links oder oben und unten abgespalten wor-

1) Frank, Beiträge p. 48. — Ciesielski, Dissertation p. 27.

den ist Fig. 19 *E*, *F*), sich energisch abwärts krümmt. Ist die Mittellamelle jedoch nicht symmetrisch geschnitten, und liegt sie mit den Schnittflächen horizontal, so krümmt sie sich nach derjenigen Seite hin (auf- oder abwärts), deren Schnittfläche der Wachsthumsaxe näher liegt, wie Fig. 19 *C*, *D*.

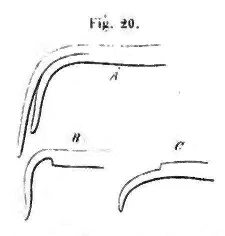
Spaltet man eine Wurzel einfach, ohne die eine Hälfte wegzunehmen, und befestigt sie dann mit horizontaler Schnittfläche in Luft, so krümmen sich meist beide Hälften (wie Fig. 20 *A*) abwärts; denn indem sie sich

Fig. 19.



Gespaltene Wurzeln von Faba in feuchter Luft. Die gespaltene Region anfangs 5 Mill. lang

Fig. 20.



Gespaltene Wurzel von Faba in lockerer Erde; anfängliche Länge der Spaltung 5 Mill.

gegen einander zu stemmen suchen, wird das Abwärtsstreben (Einwärtskrümmung) der oberen durch den Geotropismus unterstützt, die Aufwärts- (hier Einwärts-) krümmung der unteren aber durch den Geotropismus geschwächt. Sehr häufig wächst die obere Hälfte solcher Wurzeln stärker in die Länge als die untere; diese Erscheinung kann nicht allein Folge unsymmetrischer Spaltung sein, da dann bei grosser Zahl von Objecten auch das Gegentheil häufiger, als es geschieht, vorkommen müsste; man darf daher annehmen, dass auch symmetrisch halbirte Wurzeln sich so verhalten; es wird diess auch dadurch bestätigt, dass auch nach Wegnahme einer Hälfte, wie bei Fig. 19 *A*, *B* die sich abwärts krümmende *B* meist stärker wächst als die sich aufwärtskrümmende *A*. Diese Thatsachen zeigen, dass das Wachsthum der Rinde, und in Folge dessen der ganzen Längshälfte, beschleunigt wird, wenn sich die Rinde über dem Strang, dass es verlangsamt wird, wenn sich die Rinde unter dem Strang befindet. Diess ist schon aus der Krümmung ganzer Wurzeln zu schliessen; diese Beobachtungen zeigen jedoch, was dort nicht zu sehen war, dass die beiden Hälften in dieser Beziehung unabhängig von einander sind.

Deutlicher als an den in feuchter Luft wachsenden halbirten Wurzeln spricht sich dieses Verhalten in feuchter, lockerer Erde aus. Lässt man beide gespaltene Hälften über einander liegen, so findet man sie nach 24 Stunden in der grossen Mehrzahl der Fälle abwärts gekrümmt wie

Fig. 20 *A*; nimmt man die eine Hälfte weg, so krümmt sich die mit der Schnittfläche abwärts gekehrte immer abwärts (Fig. 20 *B*); die mit der Schnittfläche oben liegende krümmt sich meist schwächer abwärts oder sie bleibt fast grade (Fig. 20 *C*). Bei diesem Verhalten, welches mit dem in Luft anscheinend nicht stimmt, ist offenbar der Widerstand der Erde betheiligt; bei der mit dem Schnitt abwärts gekehrten Hälfte wird dieser Widerstand durch die combinirte Kraft der Einwärtskrümmung und des Geotropismus überwunden, bei der mit dem Schnitt oben liegenden, wird die Aufwärtskrümmung (d. h. Einwärtskrümmung) durch die Erde gehindert und der Geotropismus, der für sich allein nicht stark genug wäre, bewirkt eine, wenn auch schwächere Krümmung nach unten.

§. 31. Eine Nachwirkung der begonnenen geotropischen Action wird von Frank und Ciesielski [1]) angegeben. Der erste sagt: »Werden Erbsenkeimpflänzchen mit graden Wurzeln in einem Winkel von 45° mit dem Horizonte schräg aufwärts gerichtet im dunkeln Raum aufgestellt, in dieser Stellung etwa 2—4 Stunden belassen, und wenn die Abwärtskrümmung der Spitzen noch nicht eingetreten oder nur schwach angedeutet ist, in eine obere und untere Hälfte aufgespalten, so krümmt sich in Wasser gebracht, nach einiger Zeit die dem Zenith zugekehrt gewesene Längshälfte in einem Bogen von 90° und darüber derart, dass die Schnittfläche concav wird, während die andere Hälfte die ursprüngliche Richtung beibehält oder sich nur schwach nach innen krümmt,« was nach $^1/_4$ Stunde bis nach einigen Stunden geschieht.

Nach Ciesielski genügt es, eine Wurzel 4—8 Stunden gewaltsam in horizontaler Stellung festzuhalten, »am besten durch Befestigung an einem horizontalen Brett und sie darauf so umzukehren, dass die früher gegen den Zenith gekehrte Seite, jetzt gegen den Nadir zu liegen kommt, um nach kurzer Zeit zu sehen, dass die Prädisposition zur Abwärtskrümmung in der Wurzel bei der früheren Stellung vorhanden war, da sich in diesem Fall die Wurzel aufwärts krümmt, d. h. mit der früher dem Zenith zugekehrten Kante convex wird«.

Trotz der grossen Zahl meiner in dieser Richtung angestellten Versuche ist es mir doch nicht gelungen das Vorhandensein einer derartigen Nachwirkung zweifelfrei zu machen.

Bei einer Reihe von Versuchen wurden Fabakeime hinter Glaswand in lockere Erde horizontal gelegt und nach 2—3 Stunden, wenn die erste Andeutung einer Abwärtskrümmung eingetreten war, der mit Deckel verschlossene Kasten umgekehrt (für Unbeweglichkeit der Erde dabei war gesorgt); in der grossen Mehrzahl der Fälle glich sich die bereits eingetretene Krümmung einfach aus und nach einigen Stunden trat eine neue Abwärtskrümmung ein; war die Krümmung vor der Umkehrung schon etwas be-

1) Frank, Beiträge p. 46. — Ciesielski, Dissertation p. 24, 29.

trächtlicher, so wurde sie nicht mehr ausgeglichen, sondern das jüngere vor ihr liegende Stück krümmte sich abwärts, so dass die Wurzel einige Stunden nach der Umkehrung die Form eines langgezogenen liegenden ∽ zeigte. In einigen wenigen Fällen jedoch fand ich die vor der Umkehrung angedeutete Krümmung 3—4 Stunden später weiter ausgebildet, die durch die Umkehrung des Kastens nach unten gekommene Convexität war beträchtlich gesteigert; in einem Falle hatte die so in umgekehrter Lage ausgebildete Krümmung einen Krümmungsradius von 15 Mill. bei etwa 50° Bogenlänge, in einem anderen einen Krümmungsradius von 10 Mill. bei 80° Bogenlänge; die auf soche Art aufgerichtete Wurzelspitze krümmte sich jedoch später abwärts, wodurch auch hier die S-Form erzielt wurde.

Noch ungünstiger fielen die Versuche mit Wurzeln aus, deren Abwärtskrümmung ähnlich, wie bei Ciesielski durch eine horizontale feste Unterlage gehindert war, als welche ich jedoch nicht ein Brett, sondern eine Glasplatte benutzte. Die Fabakeime wurden zunächst ganz in der Art wie in Fig. 13 befestigt. Die Glastafel blieb so lange horizontal in Wasser liegen, bis die Wurzeln den ersten Anfang der Krümmung zeigten, so dass die Concavität derselben eine Höhe von 0,5—2,0 Mill. über der Platte erreichte. Nach dieser Vorbereitung, die meist 2—3 Stunden erforderte, wurden die Glasplatten mit den Keimen in zweierlei Art behandelt; in einer Versuchsreihe wurde die Platte umgekehrt auf ein weites mit Wasser theilweise gefülltes Cylinderglas so gelegt, dass sie dieses wie ein Deckel verschloss; die auf ihrer Unterseite liegenden Keime also in feuchter Luft sich befanden, sie blieben zu dem von dem ihnen anhängenden Wasser lange benetzt. In keinem einzigen Falle beobachtete ich in der umgekehrten Lage eine Steigerung der Krümmung, nach 2—3 Stunden war dagegen die entgegengesetzte Krümmung abwärts concav eingetreten; war die Krümmung vor der Umkehrung stärker, hatte die Concavität über der Platte 4—5 Mill. Höhe, so blieb diese jetzt unverändert, weil die betreffenden Zonen ausgewachsen waren, und die jüngeren Theile krümmten sich, der Wurzel die S-Form gebend, abwärts. — Bei einer anderen Versuchsreihe wurden die Glasplatten mit den Keimen senkrecht so in Wasser gestellt, dass die Wurzeln allein in dieses eintauchten und ihre Spitzen senkrecht abwärts gerichtet waren; hier trat in allen Fällen ohne Ausnahme binnen 1—2 Stunden Gradestreckung der gekrümmten Stelle ein, wenn die Concavität vorher nur 0,5—2,0 Mill. Höhe über der Platte besass; die Wurzeln wuchsen der Platte angeschmiegt abwärts oder sie machten eine flache Krümmung, convex zur Glastafel. War jedoch die Krümmung anfangs stärker und hatte sie mehrere Stunden Zeit gehabt sich auszubilden, waren die gekrümmten Zonen also fast oder ganz ausgewachsen, bevor man die Tafel senkrecht in Wasser stellte, so blieb auch hier die Krümmung erhalten, nur der vor ihr liegende jüngere Theil der Wurzel richtete sich grade abwärts und wuchs ohne Krümmung an der Glastafel hinab.

Wenn bei diesen Versuchen ausserhalb der Erde überhaupt eine Nachwirkung der geotropischen Action vorkommen sollte, so müsste sie sehr gering sein und nur während der ersten kurzen Zeit nach der Umkehrung oder Senkrechtstellung der Wurzeln sich geltend machen; vielleicht würden feinere Messungsmethoden dergleichen erkennen lassen, vielleicht aber auch nicht. Dagegen ist aus meinen Versuchen ein anderes, nicht unwichtiges Resultat zu entnehmen; dass nämlich die concav gewordene Seite, wenn die Krümmung noch nicht zu weit vorgeschritten war, nach der Umkehrung oder Senkrechtstellung von Neuem stärker zu wachsen beginnt, wodurch die Krümmung ausgeglichen wird; diess ist besonders bei den vorher gekrümmten, dann senkrecht gestellten Wurzeln auffallend, denn hier wirkt die Schwere in longitudinaler Richtung auf die gekrümmte Stelle und auf allen Seiten der Axe ziemlich gleich; dennoch gleicht sich die Krümmung eben zu völliger Gradestreckung aus, was nur dadurch möglich ist, dass die concave, also vorhin schwächer gewachsene Seite jetzt schneller in die Länge wächst um den Ueberschuss des Längenwachsthums der convexen auszugleichen.

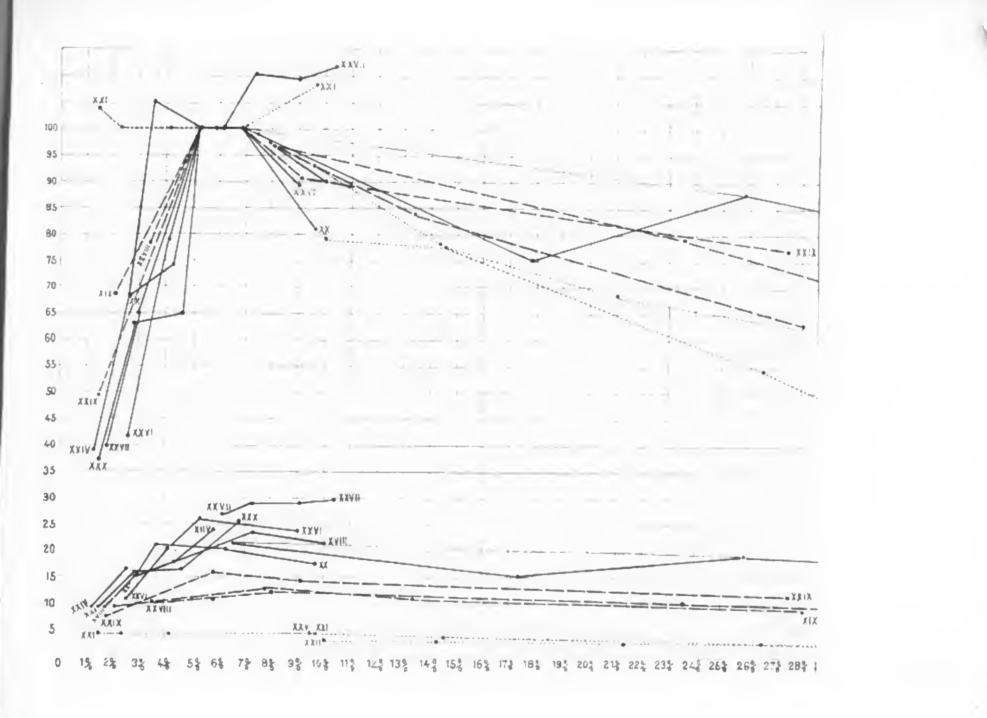
Die angeführten Versuche Frank's habe ich nicht nachgemacht, da mir eine symmetrische Spaltung der Wurzel nach begonnener Krümmung fast unmöglich scheint; und nur eine ganz symmetrische, den axilen Strang genau halbirende Spaltung würde, wenn sie das von Frank angegebene Resultat liefert, beweisend sein. In die genannten Versuche von Ciesielski dürfte sich, wie ich fast vermuthen möchte, ein Nebenumstand eingeschlichen haben, der die begonnene Krümmung nach der Umkehrung steigern konnte; vielleicht waren seine Wurzeln nicht allseitig nass, das Brettchen aber feucht und die Wurzeln konnten so die Einwirkung feuchter Flächen erfahren, die ich im zweiten Heft p. 212 beschrieben habe. Weitere Versuche, zu denen es mir jetzt an Zeit fehlt, mögen die Sache entscheiden.

Dass Wurzeln, wie es auch Stengel bei der Aufrichtung thun, zuweilen bei der Abwärtskrümmung mit der Spitze nicht bloss die verticale Richtung erreichen, sondern über diese hinausgehend, sich sogar ein wenig rückwärts krümmen, könnte wohl, wie Ciesielski (p. 23) anzunehmen scheint, Folge einer geotropischen Nachwirkung sein, doch lässt sich die Erscheinung auch ganz anders deuten, und scheint in verschiedenen Fällen auf verschiedenen Ursachen zu beruhen.

Die Fortsetzung dieser Abhandlung (über die Nebenwurzeln) folgt im 4ten Heft.

Würzburg, den 4. December 1872.

Druck von Breitkopf und Härtel in Leipzig.



100
95
90
85
80
75
70
65
60
55
50
45
40
35
30
25
20
15
10
5
0
XXV
XXI
XX
XXIX
XIX
XXVIII
XXIV
XXVII
XXX
XXVI
XXII

Druck von Breitkopf und Härtel in Leipzig.

ARBEITEN
DES
BOTANISCHEN INSTITUTS
IN
WÜRZBURG.

HERAUSGEGEBEN VON

PROF. DR. JULIUS SACHS.

Heft IV.

LEIPZIG,

VERLAG VON WILHELM ENGELMANN.

1874.

XIV.

Die Sporenvorkeime und Zweigvorkeime der Laubmoose.

(Protonema und Rhizoiden.)

Von

Dr. Hermann Müller (Thurgau).

Seitdem Nägeli [1]), Schimper [2]) und Hofmeister [3]) die grundlegenden Untersuchungen über die Entwickelungsgeschichte der Moose gemacht, waren es ganz besonders die Arbeiten von Leitgeb [4]), welche die Kenntniss des Scheitelwachsthums des Laubmoosstengels bis zu derselben Klarheit förderten, mit welcher die der Characeen und Rhizocarpeen bereits vorliegt. Jedoch bezogen sich zumal die neueren Untersuchungen vorwiegend auf das Scheitelwachsthum der belaubten Moospflanze, während die merkwürdigen Vorkeimbildungen der Laubmoose, die man unter dem Namen Protonema zusammenfasst, seit Schimper's sie betreffenden Untersuchungen eine den jetzigen Anforderungen entsprechende morphologische Bearbeitung nicht mehr erfahren haben. Gerade diese die ganze Biologie der Laubmoose beherrschenden Protonemabildungen sollen der Gegenstand der folgenden Betrachtungen sein.

Die morphologische Bedeutung des Protonemas war früher nur nebenbei in den Kreis der Betrachtungen gezogen worden, besonders konnte die Frage, ob das Protonema als eine besondere Generationsform im Generationswechsel zu betrachten sei, aufgeworfen werden, wie es Sachs in den ersten Auflagen seines Lehrbuchs gethan hat. Auf Seite 212 der 3. Auflage hat er bereits von allgemeinen Betrachtungen ausgehend dem Protonema die

---

1) Zeitschrift für wissenschaftliche Botanik. 1845.

2) Recherches anat. et physiolog. sur les mousses. 1848.

3) Vergleichende Untersuchungen.

4) Wachsthum des Stämmchens von Fontinalis antipyretica und Sphagnum, sowie die Entwickelungsgeschichte ihrer Antheridien. 1868 und 69. (Sitzungsber. der k. k. Akademie der Wissensch.)

Bedeutung einer besonderen Generationsform abgesprochen und dasselbe als ein Vorkeimgebilde in Anspruch genommen.

In Folge der Arbeiten LEITGEB's[1]) über die Segmentirung der Scheitelzelle und die Blatt- und Sprossbildung der Laubmoose kam SACHS auf die Vermuthung, dass die früher von ihm gesehene spiralige Anordnung der schiefen Theilungswände im Protonema sowie auch die erste Anlage seitlicher Aussprossungen der Letzteren gewisse Aehnlichkeiten mit den von LEITGEB studirten Vorgängen am Scheitel des Moospflänzchens darbieten möchten, und dass möglicherweise das Protonema für die Laubmoospflanze eine ähnliche Rolle spiele, wie die Vorkeime für die Charen.

Schon in den Jahren 1870 und 71 bearbeitete Herr SCHUCH im Würzburger Laboratorium diese Frage ausführlich, und die Resultate entsprachen in überraschender Weise den von SACHS gehegten Ansichten. Doch hat es Herr SCHUCH unterlassen diese seine Beobachtungen irgendwo mitzutheilen, und so habe ich im Herbst 1873 die Bearbeitung derselben Frage von Neuem aufgenommen. Ich bin nun auch durch meine Untersuchungen in den Stand gesetzt, diese und andere Fragen endgültig zu beantworten. Zudem könnten vielleicht die erhaltenen Resultate auch von allgemein morphologischem Interesse sein, indem sie dazu beitrügen, die Beziehungen zwischen Blatt und Spross zu beleuchten.

Ich will nun zunächst zur vorläufigen Orientirung des Lesers in kurzen Zügen den bisherigen Stand unserer Kenntnisse in diesen Kapiteln der Mooskunde darlegen und zugleich die Verdienste früherer Beobachter hervorheben.

Veranlasst man die Sporen eines Laubmooses zu keimen, so platzt die äussere Sporenhaut, das Exosporium, und die farblose innere Haut, das Endosporium, wird an einem oder mehreren Orten schlauchförmig hervorgetrieben. Jede solche Ausstülpung zeigt unbegrenztes Spitzenwachsthum und succedane Theilungen der jedesmal verjüngten Scheitelzelle durch zur Wachsthumsrichtung senkrecht gestellte Wände, so dass zuletzt ein confervenähnlicher Zellenfaden hervorgeht. Die Gliederzellen dieses Fadens theilen sich nicht mehr durch Querwände, können aber seitlich ausgestülpte Zellen bilden, die wieder befähigt sind durch gleiche Entwickelung zu einer Zellenreihe sich auszubilden und abermals sich zu verzweigen. Auf diese Weise entsteht das Gebilde, das man allgemein mit dem Namen Moosvorkeim oder Protonema belegt.

Zuerst wurde die Keimung der Moossporen von HEDWIG[2]) beobachtet; den damaligen Kenntnissen und Anschauungen der Botaniker entsprechend,

1) LEITGEB, a. a. O.

2) Fundamentum muscorum, vol. II. 1782.

bezeichnete er den Vorkeim als Cotyledon, die Sporen als Samen. Die ersten Keimungszustände sind von ihm ganz richtig abgebildet.

Bedeutend genauer und richtiger werden die Keimungsvorgänge und das Protonema von Nägeli uud Schimper beschrieben. Der Erstere weist zuerst nach, dass die Vorkeimfäden auch in die Erde eindringen können, dass die sonst farblosen Wandungen braun werden und die Querwände zur Längsrichtung dann nicht mehr senkrecht sind, sondern gegen dieselben eine schiefe Lage einnehmen. Dagegen hat Schimper vorwiegend die biologischen Verhältnisse des Protonemas hervorgehoben und auf die grosse Uebereinstimmung desselben mit den Wurzelhaaren (Rhizoiden) hingewiesen.

Zahlreiche Moospflänzchen können aus einem einzigen Vorkeim hervorsprossen, und zwar sind es die ersten Gliederzellen von Seitenzweigen, welche zu ihrer Bildung befähigt sind [1]).

Soll eine Moosknospe gebildet werden, so treibt eine der genannten Gliederzellen eine kurze, schlauchförmige seitliche Ausstülpung, die durch eine Scheidewand abgetrennt wird. Eine zur Wachsthumrichtung dieses Schlauchs geneigte Querwand theilt ihn in eine grundwärts gelegene Gliederzelle und eine Scheitelzelle. In der Letzteren treten in rascher Aufeinanderfolge nach verschiedenen Richtungen geneigte Scheidewände auf, wodurch sie jedesmal in eine Gliederzelle und eine verjüngte Scheitelzelle getheilt wird. Die Scheidewände schneiden sich gegenseitig, und nur die ersten sind oft so weit von einander entfernt, dass sie sich nicht mehr treffen.

Diese Vorgänge wurden bereits von Schuch 1870 gesehen und als Uebergansformen von der gewöhnlichen Gliederung eines Protonemafadens zur Herstellung eines Moosstämmchens gedeutet [2]).

Betrachtet man den Rasen einer Barbula, eines Bryum oder irgend eines anderen acrocarpischen Mooses auf seiner Unterseite, so entdeckt man leicht ein dichtes, filzartiges Geflecht brauner, goldglänzender Fäden. Es sind dies die sogenannten Wurzelhaare oder Rhizoiden. Sie nehmen ihren Ursprung aus peripherischen Zellen des Moosstengels und zwar hauptsächlich an dessen Basis und in den Blattaxeln. Durch schlauchförmige Ausstülpung dieser Zellen und einen ähnlichen Entwickelungsgang, wie er für das Protonema beschrieben wurde, werden fadenförmige verzweigte Zellreihen gebildet, welche den schon erwähnten abwärtswachsenden Zweigen des Sporenvorkeims ähnlich sind, gleich jenen abwärts wachsen, braune Wände bilden und nur wenig oder gar kein Chlorophyll enthalten. Wie wir weiter unten noch deutlicher sehen werden, stimmen das aus der Spore hervortretende Protonema und die Wurzelhaare auch in ihren weiteren Entwickelungsverhältnissen vielfach überein. Hier sei nur noch die von Nägeli

1) Sachs, Lehrbuch der Botanik. 1873.
2) Sachs, Lehrbuch der Botanik. 1873. p. 314.

und Schimper hervorgehobene Thatsache erwähnt, dass nämlich ein Rhizoid, das zur Erde heraustritt und nun dem Lichteinflusse ausgesetzt ist, ebenfalls hyaline Wände bildet, dass sich in dessen Zellen bald reichlich Chlorophyll zeigt und dass endlich in diesem Falle die Seitenzweige von denen des Sporenprotonemas durchaus nicht zu unterscheiden sind.

An den Wurzelhaaren und den protonematischen Fortsetzungen derselben entstehen zwei Gebilde verschiedener Art, nämlich eigentliche Moosknospen und Brutknospen oder Brutknollen.

Die Ersteren zeigen hier eine ganz analoge Entwickelung, wie an dem aus der Spore entstandenen Vorkeim, die Letzteren dagegen sind im ausgebildeten Zustande vielzellige, braunwandige Gebilde von linsenförmiger oder kugeliger Gestalt, die auf kurzen Stielen den Wurzelhaaren seitlich ansitzen. Lorentz [1]) beschreibt einlässlich die Brutknospen von Fissidens, kann jedoch über ihr weiteres Schicksal Nichts erfahren. Unter den von ihm gezeichneten Brutknospen finde ich aber auch eigentliche Moosknospen, z. B. Taf. I. Fig. 7 und 8.

Nach dieser vorläufigen Orientirung über unseren Gegenstand gehe ich nun zu einer ausführlicheren Darstellung meiner eigenen Beobachtungen über, welche im Winter 1873/74 im Würzburger Laboratorium gemacht worden sind. Es freut mich, an dieser Stelle meinem verehrten Lehrer, Herrn Hofrath Sachs, für Mittheilung der einschlagenden Literatur und sonstige Unterstützung der Arbeit meinen besten Dank aussprechen zu können.

Keimung und Sporenvorkeim.

Von den verschiedenen ausgesäten Sporen keimten diejenigen von Funaria hygrometrica [2]) und Atrichum undulatum am besten. Da die Keimungsvorgänge bei allen höheren Laubmoosen einen hohen Grad von Uebereinstimmung darbieten, so werde ich mich in meiner Darstellung auf die bei Funaria hygrometrica gefundenen Thatsachen beschränken.

Ein Theil der Sporen wurde auf feinen mit Brunnenwasser befeuchteten Kiessand gebracht, ein anderer Theil auf ein gut ausgekochtes, nachher mit Nährlösung getränktes und wieder ausgewaschenes Stück reinen Sphagnum-Torfes [3]) ausgesät. Von diesen beiden Kulturen besass die letztere

---

1) Studien über Bau und Entwickelungsgeschichte der Laubmoose. 1868.

2) Meinem Herbarium entnommene, 1869 gesammelte Sporen dieses Mooses keimten eben so kräftig wie solche, die aus noch lebenden ungeöffneten Kapseln gewaltsam entleert wurden.

3) Das Würzburger Laboratorium verdankt der Gefälligkeit des Herrn Professor Strasburger eine Anzahl solcher Torfziegel.

immer das kräftigere und gesundere Aussehen, dagegen entwickelte die erstere zuerst Moosknospen [1]).

Wie es auch bei den Samen mancher Phanerogamen der Fall ist, ebenso tritt die Keimung nicht bei allen Moossporen einer Aussaat gleichzeitig auf; denn während die einen schon nach 4—6 Tagen die ersten Keimungserscheinungen zeigten, trat dasselbe Stadium bei andern erst nach zwei Monaten ein, zu einer Zeit, wo an dem von den ersteren gebildeten Protonema bereits Moosknospen aufgetreten waren.

Schon in den ersten Tagen nach der Aussaat ballt sich die vorher amorphe Chorophyllsubstanz in gesonderte Körner. Die Spore selbst nimmt an Volumen beträchtlich zu, wobei die äussere Membran springt, und wenn die Zunahme rasch geschieht, auf ein Mal ganz abgeworfen wird (*ex* in Fig. 1. *A*). In anderen Fällen erhält das Exosporium nur Risse und bleibt noch längere Zeit am Endosporium haften.

An beliebigen Stellen (in dem zuletzt angeführten Falle aus den Rissen des Exosporiums) wird das Endosporium schlauchförmig hervorgetrieben. Eine Querwand trennt diese Ausstülpung von dem Innenraum der Spore, und zwar kann diese erste Wand zuweilen in den Sporenraum selbst hineingerückt sein (Fig. 1 *A*); eine Erscheinung, die wenn auch vielleicht nur entfernt an die Vorgänge bei Andreaea [2]) und den Hymenophyllaceen erinnert. Jede solche vom Innenraum der Spore abgeschnittene schlauchförmige Ausstülpung wird zur Mutterzelle einer Vorkeimaxe, indem sie unbegrenztes Scheitelwachsthum zeigt und von Zeit zu Zeit sich nicht mehr theilende Segmente bildet.

Der gewöhnliche Fall ist nun der, dass zuerst nur eine solche Ausstülpung erscheint; ist diese bereits zu einem zwei- oder auch vielzelligen Faden herangebildet, dann zeigt sich auf der anderen Seite der Spore eine der ersten ganz ähnliche Ausstülpung, die wie jene in der angegebenen Weise zu einem Zellfaden sich entwickelt (Fig. 1 *B*).

Nach früheren Angaben wird nur der eine dieser Gliederfäden zu einem chlorophyllhaltigen Protonema mit rechtwinkligen Scheidewänden, der andere dagegen zu einem in die Erde eindringenden Rhizoid, dessen chlorophyllfreie Zellen durch schräge Querwände getrennt sind. Meine Beobachtungen zeigen, dass in vielen Fällen zwischen diesen zwei zuerst aus der Spore

---

1) Um in kurzer Zeit kräftige Vorkeimkulturen zu erhalten, versorgte ich dieselben reichlich mit Kohlensäure. Es zeigt sich, dass dieses bei höheren Pflanzen mit Vortheil angewandte Verfahren auch hier von gutem Erfolg ist. Wenn ich einen Vorkeimrasen halbirte und zu der einen unter eine Glasglocke gebrachten Hälfte an hellen Tagen von Zeit zu Zeit eine Anzahl Kohlensäureblasen leitete, so zeigte sich, dass die Vorkeime in kurzer Zeit kräftiger und stärkereicher wurden als die der anderen Hälfte, und dass sie bedeutend früher eine grosse Zahl junger Moospflanzen hervorbrachten.

2) Emil Kühn, Zur Entwickelungsgeschichte der Andreaeaceen, (Mitth. aus d. Gesammtgebiet der Botanik von Schenk und Luerssen. Band I.)

hervorgegangenen Gebilden ein solcher Unterschied sich wirklich findet, dass er aber wohl in eben so vielen Fällen nicht statt hat, sondern dass

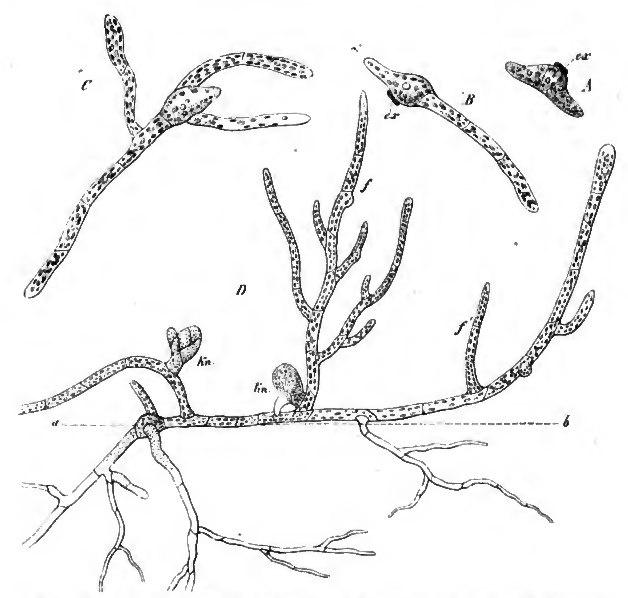


Fig. 1. Sporenvorkeime von Funaria hygrometrica. *A*, *B* und *C* junge, *D* ein älteres Stadium, *a b* Bodenoberfläche, *Kn* Moosknospen, *f* und *f'* zwei seitliche Auszweigungen mit begrenztem Wachsthum, *ex* abgeworfenes Exosporium.

hier die beiden Zellfäden sich in allen Beziehungen, die Entwickelungsstufe ausgenommen, vollständig gleich sind.

Aber auch in den Fällen, wo der eine Zellenfaden zum Protonema, der andere zum Rhizoid wird, ist der Unterschied nur ein relativer. Die ersten Scheidewände stehen gewöhnlich in Beiden zur Längsaxe des Fadens rechtwinklig und erst weiter von der Spore entfernt werden sie schief, im letzteren oft schon nach drei oder vier Zellen, im ersteren dagegen meist später (Fig. 1 *C* u. *D*). Während in den Rhizoiden der Neigungswinkel der Querwände um 45° schwankt, entfernt er sich im chlorophyllhaltigen Protonema oft nur wenig von einem rechten Winkel.

Hieraus und aus dem früher Gesagten geht nun schon ziemlich deutlich hervor, dass die beiden zuerst aus der Spore hervortretenden Zellfäden

morphologisch gleichwerthig sind, dass aber in den Fällen, wo sie ungleiche physiologische Arbeit zu verrichten haben, natürlich auch Aufbau und äusserer Habitus Verschiedenheiten zeigen werden.

Dass dieser Unterschied wirklich nur ein physiologischer ist, wird ferner auch dadurch bewiesen, dass der chlorophyllhaltige Protonemafaden in die Unterlage eindringen kann und an dieser Stelle von einem Rhizoid durchaus nicht zu unterscheiden ist. Umgekehrt wird das Rhizoid da, wo es aus der Erde heraus an's Licht tritt, zu chlorophyllhaltigem Protonema, dessen Scheidewände beinahe rechtwinklig quergestellt sind.

Diese Gründe und später anzuführende Analogieen veranlassen mich, für das ganze aus der Spore hervorkommende Gebilde den Namen Sporenvorkeim vorzuschlagen, und den Begriff dahin zu präcisiren, dass verschiedene Theile desselben verschiedene physiologische Bedeutung haben können, und dass dem entsprechend diese Theile auch eine etwas verschiedene Ausbildung erfahren. Während nämlich die über der Unterlage sich befindenden Theile viel Chlorophyll enthalten, also der Assimilation dienen, führen die in die Erde wachsenden, vom Lichte abgeschlossenen und desshalb nur wenig oder gar kein Chlorophyll enthaltenden Partieen dem Vorkeime Nahrungsstoffe in wässeriger Lösung zu, dienen als Wurzeln. Bei Ersteren sind die Wandungen farblos und durchsichtig und die Scheidewände mehr oder weniger senkrecht zur Längsaxe, bei Letzteren besitzen nur die Spitzen farblose Wandungen, die älteren Theile dagegen gelb bis braun gefärbte, und die Querwände sind stärker gegen die Längsaxe geneigt.

Diese verschiedene physiologische Ausbildung kann nun ganz verschiedene Vorkeimfäden treffen, oder aber an verschiedenen Theilen desselben Fadens auftreten. Zudem will ich hier noch beifügen, dass das oben Gesagte nicht nur für die zwei zuerst auftretenden Fäden, sondern überhaupt für alle Theile des Sporenvorkeimes Geltung hat (Vgl. Fig. 1 *D*).

Kehren wir nun nach diesen Bemerkungen wieder zum Entwickelungsgange des Sporenvorkeims zurück. Die erste auftretende Vorkeimaxe ist, wie wir gesehen, ein assimilirendes Organ, die zweite verhält sich entweder ebenso, oder aber sie dient dem Vorkeim als Wurzel. Nachträglich können nun aus der Spore noch mehrere Vorkeimfäden hervorgetrieben werden, so dass die Stelle der Spore zuletzt nur noch daran zu erkennen ist, dass sie als Ausgangspunkt mehrerer hier entspringender Vorkeimaxen erscheint. Welche physiologische Arbeit diese später auftretenden Axen des Sporenvorkeims zu leisten haben, hängt zunächst davon ab, ob sie an der der Unterlage zugekehrten Seite der Spore hervortreten oder aber nicht.

Die ersten Gliederzellen der Vorkeimaxen, welche unmittelbar aus der Spore entspringen, zeigen die Eigenthümlichkeit, dass ihre seitlichen Auszweigungen ohne weitere Vermittlung sofort wieder als Vorkeimaxen sich ausbilden können, welche den aus der Spore unmittelbar entspringenden

gleichen. Zuweilen aber haben die Auszweigungen dieser ersten Gliederzellen nur ein begrenztes Wachsthum.

Die folgenden Gliederzellen jeder aus der Spore direct entsprungenen Vorkeimaxe können dagegen seitliche Auszweigungen hervorbringen, die, so weit sich dies überhaupt nachweisen lässt, immer begrenztes Wachsthum zeigen und sich überdies auch noch durch die Stellung der Querwände von den eigentlichen Vorkeimaxen unterscheiden. — Bei *f* in Fig. 1 *D* findet sich eine solche seitliche Auszweigung, die selbst wieder verzweigt ist, weiter nach rechts bei *f'* eine noch unverzweigte. Die Basalzellen dieser mit begrenztem Wachsthum versehenen seitlichen Auszweigungen sind es nun, aus denen neue Vorkeimaxen (2. Ordn.) ihren Ursprung nehmen können. An diesen können dann wieder solche begrenzt wachsende Auszweigungen mit Vorkeimaxen 3. Ordn. entstehen u. s. f.

Welches ist nun aber der morphologische Entstehungsort der Moospflanzen, welche vorzubereiten ja doch der eigentliche Zweck des ganzen Vorkeims ist? Das in Fig. 1 *D* gezeichnete Präparat gibt uns Antwort auf diese Frage. Dort sehen wir, dass aus der basalen Zelle der begrenzt wachsenden seitlichen Auszweigung *f* eine Moosknospe *Kn* hervortritt, also an derselben Stelle, wo unter andern Umständen eine Vorkeimaxe hätte hervortreten können. Dasselbe zeigten mir zahlreiche andere Präparate und lässt sich auch an dem von Sachs[1]) gezeichneten Vorkeim sehen. Genaueres über diese Verhältnisse folgt weiter unten im Zusammenhang mit analogen Vorkommnissen an den Zweigvorkeimen.

Zweigvorkeime[2]).

Wie schon oben mitgetheilt, wurden bis jetzt mit dem Namen Wurzelhaare (Rhizoiden) Organe der Moospflanze bezeichnet, welche derselben als Wurzeln dienen, nebenbei aber auf die verschiedenste Weise die vegetative Propagation besorgen. (Man vergleiche das Uebersichtsbild (Fig. 2.)

Später darzulegende Uebereinstimmungen dieser Gebilde mit den Sporenvorkeimen veranlassen mich, dieselben mit dem Namen Zweigvorkeime zu belegen.

Was nun den morphologischen Ursprung dieser Zweigvorkeime betrifft, so ist derselbe nicht in der Weise wie derjenige der Blätter und Knospen

---

1) Sachs, Lehrbuch 1873. Fig. 226.

2) Die Untersuchungen über die Zweigvorkeime wurden an den verschiedensten acrocarpischen Moosen gemacht. Als günstiges Versuchsmaterial, an dem sich die beschriebenen Verhältnisse ganz leicht controlliren lassen, kann ich besonders die verschiedenen Barbula-Arten z. B. B. muralis, B. ruralis, B. revoluta, sodann Bryum argenteum, Funaria hygrometrica, Encalypta vulgaris empfehlen.

am Moosstengel zu fixiren. Diese nämlich entspringen in streng gesetzlicher Ordnung dicht unter dem Scheitel des Moosstengels, wo jede einzelne Zelle des Urmeristems ihre besondere morphologische Bedeutung besitzt; die Zweigvorkeime dagegen machen mehr den Eindruck adventiver Sprossungen, sie entspringen aus viel älteren Theilen des Moosstammes und zwar aus Oberflächenzellen desselben, denen eine bestimmte morphologische Bedeutung für die gesammte Architektonik der Moospflanze nicht zukommt. Dem entsprechend sind es Zellen verschiedenster Lage, bald über der Blattaxel, bald neben der Blattinsertion, welche zu Zweigvorkeimen auswachsen können.

Nach allen diesen Merkmalen gleichen die Zweigvorkeime den Haargebilden der meisten Pflanzen; andererseits aber ist doch wieder hervorzuheben, dass einzelne Zweigvorkeime oder Gruppen von solchen oft gerade an dem Orte des Mutterstämmchens entstehen, wo nach dem bekannten Bauplan der Laubmoose ein wirklicher Zweig auftreten könnte (Fig. 2).

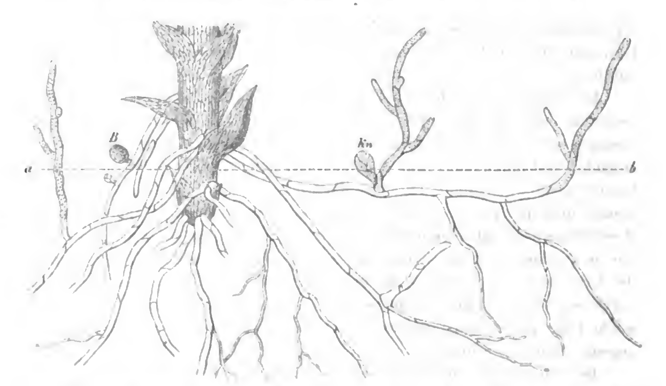


Fig. 2. Unterer Theil des Stengels einer Barbula muralis mit Zweigvorkeimen. *a b* Bodenoberfläche, *B* junge und ausgewachsene Brutknolle, *kn* Moosknospe.

Wir wollen auch hier die aus den peripherischen Zellen des Moosstammes direct entspringenden Gliederfäden Vorkeimaxen nennen und zuerst unserer Betrachtung unterwerfen, während dann die Verzweigung derselben der Stoff eines weiteren Abschnittes sein wird.

Aehnlich wie die Axen des Sporenvorkeims können auch die der Zweigvorkeime gleich bei ihrem Erscheinen entweder als sehr chlorophyllreiche quer gegliederte Fäden oder, was der gewöhnliche Fall ist, als schiefgegliederte Rhizoiden auftreten. Zunächst behalten wir diese letztere Form im Auge.

Die Zweigvorkeimaxe zeigt unbegrenztes Längenwachsthum durch eine lange Scheitelzelle, welche durch schiefe Wände gestreckte Segmente abgliedert. Intercalare Theilungen finden gewöhnlich nicht statt[1]. An der fortwachsenden Spitze sind die Aussenwandungen der Gliederzellen dünn und hyalin, verwachsen mit den umgebenden Erdtheilchen; an den älteren Theilen werden diese dann abgestossen, die Wandungen selbst nehmen gelbe bis braune Farbe an und erfahren eine wesentliche Verdickung. Im Inhalte findet sich hier wenig oder gar kein Chlorophyll, dagegen ist er reich an Protoplasma und Oeltropfen.

Die in die Erde vordringenden Spitzen von Zweigvorkeimen sind befähigt, sich jeder Unebenheit anzupassen, in die kleinsten Ritzen zwischen die Steinchen einzudringen, hier sich zu verengern, dort beträchtlich zu erweitern. Auf diese Weise entstehen oft die bizarrsten Formen, die zu einer Untersuchung durchaus nicht geeignet sind. Es ist desshalb vortheilhaft, sich Moosrasen auf weicher Unterlage selbst zu ziehen, oder solche zu verwenden, die auf zarter, weicher Erde gewachsen sind. Recht hübsche, regelmässige Zweigvorkeime haben mir auch solche Moospflänzchen ergeben, die ich zwischen zwei schmale Torfstreifen eingeklemmt über Wasser aufhing.

Die Scheidewände der Gliederzellen bilden mit der Längsaxe des Zweigvorkeims einen Winkel, der ungefähr 45° beträgt, jedoch auch mehr oder weniger von dieser Grösse abweichen kann; auch die dem Moosstamme zunächst stehenden, also zuerst gebildeten, machen hier bei den Zweigvorkeimen keine Ausnahme (Fig. 2). Da ich später die Lage dieser Scheidewände und die Auszweigungen der Gliederzellen mit den am Gipfel des Moosstämmchens auftretenden Zelltheilungsfolgen vergleichen werde, so wollen wir uns schon jetzt die Zweigvorkeimaxen aufrecht gestellt denken, so dass die fortwachsende Spitze nach oben schaut (Fig 3—5); es soll aber nie vergessen werden, dass in der Natur die Zweigvorkeime höchst selten eine solche Lage einnehmen, sondern dass ihnen vielmehr meist gerade die entgegengesetzte eigenthümlich ist.

Bezeichnen wir eine durch den höchsten und den tiefsten Punkt einer Hauptwand gelegte Longitudinalebene als Medianebene, so zeigt sich, dass die Medianebenen der consecutiven Hauptwände sich sehr oft nach drei Richtungen ordnen und sich ungefähr unter Winkeln von 120° schneiden, und da ausserdem die Divergenzen dieser Medianen immer nach links oder immer nach rechts fortschreiten, so leuchtet ein, dass die Scheidewände schraubig angeordnet sind; oder mit andern Worten, denkt man sich die höchstliegenden Punkte in genetischer Reihenfolge mit einander verbunden, so erhalten wir eine links- oder eine rechtsläufige Schraubenlinie (Fig. 3 u. 5).

---

[1] Einige Präparate machten mir wahrscheinlich, dass ausnahmsweise doch intercalare Theilungen vorkommen können; es sicher zu constatiren, gelang mir jedoch nicht.

Dem Leser kann nicht entgangen sein, dass diese Anordnung den Stellungsverhältnissen der Hauptwände am Stammscheitel entspricht, nur mit dem Unterschied, dass die Segmente des Zweigvorkeims sehr lang sind und die Hauptwände sich gegenseitig nicht schneiden. Nehmen wir nämlich an, die Glieder des Zweigvorkeims seien so weit verkürzt, bis je drei aufeinanderfolgende Scheidewände sich schneiden, so haben wir das Bild von der Scheitelzelle eines Moosstammes, die nach drei Seiten hin Segmente bildet; oder denken wir uns umgekehrt den Gipfel eines Moosstengels sehr schlank, die Scheitelzelle rasch in die Länge wachsend, die Hauptwände erst nach längeren Zwischenräumen auftretend, im Uebrigen aber Nichts geändert, so würde sich der Moosstengel wie ein Zweigvorkeim verhalten.

Bei Fontinalis antipyretica sind die höchsten Punkte der segmentabschneidenden Wände in drei Orthostichen angeordnet[1]), während bei Polytrichum, Barbula[2]) und anderen Moosen die Scheitelzelle zwar ebenfalls dreiseitig ist, die Divergenz aber mehr als $^1/_3$ beträgt, und desshalb stehen die Segmente nicht mehr in drei Orthostichen, sondern in drei Linien, die selbst schraubig um den Stamm verlaufen. Ebenso ist auch bekannt, dass später durch das Wachsthum im Moosstengel Drehungen vorkommen können, wodurch dann die Divergenz der ausgebildeten Blätter eine andere wird als diejenige der blattbildenden Segmente am Scheitel. Nach alledem wird es kaum auffallen, wenn auch in den Zweigvorkeimen, die zudem in ihrer Wachsthumsrichtung von der Umgebung so abhängig sind, die Scheidewände nicht immer das im Vorigen dargestellte Stellungsverhältniss innehalten, sondern dass sich Zweigvorkeime verschiedener Moose verschieden verhalten, dass ältere und jüngere Theile derselben Axe ungleiche Divergenzwinkel zeigen, und dass endlich hie und da sich auch Unregelmässigkeiten zeigen können[3]).

Es zeigen demnach die Zweigvorkeime dieselbe Segmentirung wie der Moosstamm, nur sind die Hauptwände der aufeinanderfolgenden Segmente so weit von einander entfernt, dass sie sich nicht mehr schneiden, und im Gegensatz zum Moosstämmchen unterbleibt in den Segmenten der Zweigvorkeime die Gewebebildung.

Ganz ähnliche Verhältnisse zeigen auch diejenigen Axen des Sporenvorkeims, denen die physiologische Bedeutung von Wurzeln zukommt, jedoch mit dem schon früher angedeuteten Unterschiede, dass die ersten Wände zur Längsaxe meist rechtwinklig stehen. Was dagegen die über der

---

1) Leitgeb, a. a. O.

2) Siehe Fig. 7 *A* und *B*.

3) Man hat bei diesen Beobachtungen darauf zu achten, dass die Seitenglieder eines Zweigvorkeims unter dem Deckglas alle in eine Ebene gedrückt und dadurch auch betreffende Theile der Vorkeimaxe um ihre Längsaxe gedreht werden. Präparate wie das in Fig. 3 gezeichnete sind für Constatirung der besprochenen Verhältnisse die günstigsten.

Unterlage im Lichte wachsenden Axen beider Vorkeime betrifft, so ist in denselben die Stellung der Scheidewände eine so wenig geneigte und zudem von verschiedenen Einflüssen so sehr abhängige, dass es kaum und meistens gar nicht möglich ist, eine spiralige Anordnung derselben zu erkennen.

Verzweigung der Zweigvorkeime.

Wenn schon, wie so eben gezeigt wurde, die Entstehung der Gliederzellen eines Zweigvorkeims mit der Segmentirung am Stammscheitel eine nicht zu verkennende Aehnlichkeit darbietet, so wird diese Letztere noch auffallender dadurch gesteigert, dass wir auch die Blatt- und Sprossbildung des Stammscheitels in ihren ersten und morphologisch entscheidenden Momenten bei der Verzweigung der Zweigvorkeime wieder finden.

Aus den meisten Gliederzellen einer Vorkeimaxe tritt unter dem höchsten Punkt der Segmentwand ein papillenartiger Auswuchs hervor, der gewöhnlich bald nachher durch eine Wand von der Gliederzelle abgeschnitten wird (Fig. 3—5). Diese Wand will ich im Interesse der weiteren Vergleichungen mit einem besonderen Namen, nämlich als Papillarwand bezeichnen. Die Papillarwand (*p*) ist entweder parallel mit der Längsaxe und kann dann leicht als blosse Fortsetzung der Aussenwand der Gliederzelle erscheinen (Fig. 4 *B* u. *C*), oder sie ist auf der scheitelsichtigen Seite nach innen geneigt und trifft die Segmentwand (Fig. 4 *A*).

Die abgeschnittenen Papillen können sich nun ganz verschieden verhalten. Ein grosser Theil bleibt auf dieser Stufe der Ausbildung stehen, und die zarte hyaline Haut wird verdickt und braun (Fig. 3); ja andere hören sogar schon auf sich weiter zu entwickeln, bevor sie von der Vorkeimaxe durch eine Wand abgetrennt sind.

Fig. 4 *C* zeigt uns eine solche Papille, die schon einen weiteren Schritt in der Entwickelung gethan. Sie hat sich etwas mehr gedehnt und ist durch eine Wand *l* in zwei Zellen α und β getheilt worden. In dem betreffenden Beispiel steht die Zelle α mit der Papillarwand nicht mehr in Berührung; es kann aber auch die Scheidewand *l* etwas tiefer rücken, so dass sie die Papillarwand schneidet, und dann stossen beide Zellen α und β an die letztere Wand (Fig. 4 *B*). Gewöhnlich steht die Wand *l* senkrecht auf der Papillarwand, auch dann, wenn die beiden Wände sich nicht schneiden.

Es leuchtet sofort ein, dass die vorhin als Papillarwand bezeichnete Wand *p* am Moosstämmchen der von Leitgeb[1]) »Blattwand« genannten entspricht, und nach dem eben Gesagten kann es nicht zweifelhaft sein, dass

1) Leitgeb, a. a. O.

die mit *l* bezeichnete Wand der »Basilarwand« LEITGEB's analog ist. Sie soll daher auch fortan als Basilarwand bezeichnet werden.

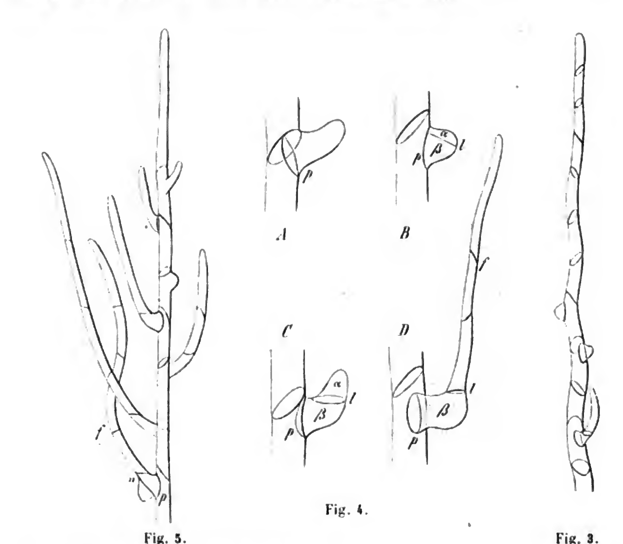


Fig. 3. Zweigvorkeim von Bryum argenteum.
Fig. 4. Zweigvorkeimpapillen von Barbula ruralis.
Fig. 5. Oberirdische Zweigvorkeimspitze von Barbula muralis. — *p* Papillarwand, *l* Basilarwand, *α* acroscope Papillarzelle, *β* basiscope Papillarzelle, *f* der aus *α* hervorgehende Blattvertreter, *n* erste Wand einer Knospenanlage.

Es wird nicht überflüssig sein, die so eben zwischen Zweigvorkeim und Moosstämmchen gemachte Vergleichung noch etwas ausführlicher darzulegen, indem ich dabei die bekannte Figur von LEITGEB[1]), welche die Vorgänge am Stammscheitel von Fontinalis veranschaulicht, und die sonst bekannten Verhältnisse bei der Blattbildung der Moose zu Grunde lege.

Wir gehen bei dieser Vergleichung am zweckmässigsten von der schon weiter angeführten Thatsache aus, dass eine Gliederzelle des Zweigvorkeims einem Segment der Stammscheitelzelle entspricht; wie nun bei dem Letzteren jederzeit noch vor dem Auftreten irgend einer Theilungswand der acroscope Theil der Aussenwand sofort in Form einer breiten Papille sich hinauswölbt, so geschieht auch etwas Aehnliches an der Gliederzelle des

1) Wem das LEITGEB'sche Original nicht zur Hand ist, findet die betreffende Figur copirt im Lehrbuch von SACHS, 1873. p. 377.

Vorkeims am acroscopen Theil ihrer Aussenwandung, wenn auch hier die Auswölbung nur geringere Breite besitzt. Bei der sehr langgezogenen Form des Segments am Zweigvorkeim kann es nicht auffallen, dass unterhalb dieser Auswölbung noch ein langes cylindrisches Stück übrig bleibt, während am Segment des Stammes die Auswölbung wenigstens Anfangs über die ganze Höhe der Aussenwand sich abzuböschen scheint. Da nun die breite Papille im letzteren Falle zum Blatt sich ausbildet, so schien es nicht ganz ungerechtfertigt, wenn Leitgeb die erste Wand, durch welche eine Aussenzelle von dem Segment abgetrennt wird, als »Blattwand« bezeichnete; allein die weitere Entwickelung des Stammsegments zeigt ohnehin, dass die durch die »Blattwand« abgetrennte Aussenzelle keineswegs bloss ausschliesslich zur Erzeugung des Blattes dient, dass vielmehr der untere Theil derselben das Berindungsgewebe des Stammes und eine Knospe zu bilden hat. Sehen wir einstweilen von den zahlreicheren Zelltheilungen ab, welche erst später am Stammsegment die Rinde erzeugen, so umfasst die durch die Blattwand abgetrennte Aussenzelle zwei wesentlich verschiedene Dinge, nämlich in ihrem acroscopen papillösen Theil die Anlage des Blattes, im basiscopen die Anlage eines Sprosses. Diese beiden Theile der Aussenzelle von verschiedener Bedeutung werden nun durch eine Querwand sofort von einander getrennt. Dies ist Leitgeb's Basilarwand. Oberhalb derselben liegt die Blattmutterzelle, unterhalb die Sprossmutterzelle. Es ist durchaus kein Grund vorhanden, die Aussenzelle, welche Blatt und Spross gleichzeitig erzeugen kann, ausschliesslich als Blattanlage zu bezeichnen; vielmehr darf nur der durch die Basilarwand abgetrennte obere Theil als Blattmutterzelle bezeichnet werden. Diese Betrachtungsweise ergibt aber sofort, dass es nicht zweckmässig ist, den Namen »Blattwand« im Sinne Leitgeb's festzuhalten; unverfänglicher scheint es, auch am Stammsegment, wie wir es an der Gliederzelle des Zweigvorkeims gethan haben, diese Wand als Papillarwand zu bezeichnen.

Die Aussenzelle am Stammsegment entspricht also der durch die Papillarwand abgetrennten Auszweigung des Zweigvorkeims; die Basilarwand scheidet in beiden Fällen zwei differente Zellen von einander, die wir am Stamm als Blatt- und Sprossmutterzelle bezeichnen dürfen. Bis zu einem gewissen Grade würde sich diese Bezeichnung auch für die beiden Zellen der Papille am Zweigvorkeim (α und β) rechtfertigen lassen; allein wir würden eines der wichtigsten Ergebnisse der Untersuchung abschwächen, wenn wir die beiden Zellen, welche am Zweigvorkeim durch die Basilarwand getrennt werden, ohne Weiteres als Spross- und Blattmutterzellen bezeichnen wollten. Es zeigt sich nämlich die merkwürdige Thatsache, dass diese beiden Zellen am Zweigvorkeime noch nicht mit Entschiedenheit die ihnen zugesprochene Bedeutung festhalten, wie es am Stengel geschieht, dass vielmehr die aus den beiden Zellen α und β hervorgehenden Gebilde von sehr schwankender Natur sein können. Nur das Eine steht fest, dass

wenn ein aufwärtswachsender Laubstengel gebildet werden soll, er jederzeit aus der untern, basiscopen der beiden primären Hälften der Papille, also aus β entspringt, und dass ausserdem die acroscope Hälfte der Papille eine Neigung verräth, Gliederfäden mit begrenztem Wachsthum zu erzeugen, die wir auch aus andern Gründen berechtigt sind als blattähnliche Gebilde von sehr primitiver Form aufzufassen.

Die ursprünglich verschiedene Bedeutung der beiden Zellen α und β tritt nur dann allerdings schlagend hervor, wenn in der That beinah gleichzeitig die eine zu einem Laubspross, die andere zu einem blattähnlichen Gebilde sich ausbildet (Fig. 6 u. 7). Dieser Fall tritt jedoch selten auf. Nicht selten ist es dagegen, dass beide Zellen nach Entstehung der Basilarwand sich nicht weiter entwickeln, oder dass nur die eine oder die andere zu einem eigenartigen Gebilde auswächst. Aber auch die Vergleichung der zuletzt angeführten und noch weiterer Ausbildungsarten, welche die beiden Zellen befolgen können, führt uns zu beachtenswerthen Resultaten.

In den meisten Fällen beginnt die Zelle α zuerst sich weiter zu entwickeln; sie wächst zu einem Schlauche aus, der durch eine Querwand getheilt wird; die Endzelle wächst weiter, wird abermals getheilt und so geht es eine Zeit lang fort (Fig. 4 *D* u. Fig. 5). Wie bereits erwähnt zeigen die so gebildeten aus α hervorgehenden Zellfäden begrenztes Wachsthum; da sie zudem, wie sofort gezeigt werden wird, gelegentlich noch weitere Aehnlichkeit mit Moosblättern zeigen, so will ich einstweilen alles das, was sich aus der acroscopen Papillarzelle α überhaupt entwickeln kann, als Blattvertreter bezeichnen.

Die Querwände eines solchen Blattvertreters sind gewöhnlich schief, ohne dass es jedoch gelingt ihre Neigung auf eine nach drei Seiten hin Segmente bildende Scheitelzelle zurückzuführen, wie dies für die Axen der Zweigvorkeime möglich ist. An einzelnen Präparaten schien es mir vielmehr, als liessen sich die höchsten Punkte der Scheidewände in zwei Orthostichen reihen, was ja auf eine zweiseitige Segmentirung der Scheitelzelle hinweist, wie sie beim typischen Moosblatt sich findet. (Man vergl. *f* in Fig. 2—7.)

Es können die Blattvertreter sich auch noch weiter verzweigen, ähnlich wie die Auszweigungen mit begrenztem Wachsthum an den Sporenvorkeimen, welch letztere auch sonst vollständig mit ihnen übereinstimmen. (*f* in Fig. 1, 2, 6 und 7.)

Gehen wir nun auf die verschiedenen Entwickelungsformen der Zelle β über, so muss zuerst hervorgehoben werden, dass sie in vielen Fällen auf der ersten Ausbildungsstufe stehen bleibt und aus ihr kein weiteres Gebilde hervorgeht; sie erscheint dann als unterste Zelle des Blattvertreters. (Vergl. die unteren Blattvertreter *f* in Fig. 6 und 7.) Weiter oben wurde bereits erwähnt, dass aus β zuweilen die Knospe eines Laubmoos-

stengels entspringt, viel häufiger ist es dagegen, dass aus dieser Zelle ein langes fadenförmiges Gebilde hervorwächst, welches im Allgemeinen die Eigenschaften einer Vorkeimaxe wiederholt und daher dem Beobachter auch als einfache Verzweigung einer solchen erscheint (*Sp.* Fig. 6).

Es können also aus β zwei scheinbar sehr verschiedene Gebilde hervorgehen, nämlich entweder ein typischer Moosstamm oder aber eine diesen vertretende Vorkeimaxe, die aber, wie früher gezeigt wurde, nichts anderes ist als ein sehr gestreckter Moosstengel. (Das in Figur 6 gezeichnete Präparat zeigt beide Fälle an demselben Zweigvorkeim.)

Kehren wir einen Augenblick zu unserer Vergleichung des Zweigvorkeims mit der typischen Moospflanze zurück, so bemerken wir, dass die Zelle α, aus der am Moosstamm ein Blatt hervorgeht, am Zweigvorkeim ein Gebilde hervorbringt, das ebenfalls begrenztes Wachsthum und ausserdem sonst noch Blattnatur zeigt, und dass aus der Zelle β sowohl am Moosstamme als auch am Zweigvorkeim eine der Mutteraxe analoge Axe ihren Ursprung nehmen kann. Es hat also die Zelle α in beiden Fällen Tendenz zur Blattbildung, die Zelle β die Tendenz einen Spross zu erzeugen.

In ganz seltenen Fällen ist die zeitliche Entwickelung der beiden Papillartheilzellen eine andere und geht zuerst aus β ein Spross hervor. Die Zelle α verkümmert dann entweder vollständig, oder aber diese Entwickelungsfolge zeigt sich schon vor Anlage der Basilarwand; dann erscheint diese als erste Querwand der neuen Hauptaxe, die Zelle α als erstes Segment. In diesem Falle kann aus α noch nachträglich ein Blattvertreter hervorgehen, der nun aber schon an der neu gebildeten Axe zu stehen scheint. — Es zeigt sich also, dass man die ursprünglich verschiedene Bedeutung der Zellen α und β, wie schon erwähnt wurde, nur dann deutlich erkennt, wenn beide gleichzeitig in differenter Weise sich ausbilden.

Ich habe oben darauf hingewiesen, dass Leitgeb's Annahme, es habe die durch seine »Blattwand« abgeschnittene Aussenzelle des Stammsegmentes wesentlich nur Blattnatur, nicht nothwendig festzuhalten sei; nach dem soeben Mitgetheilten könnte man mit demselben Recht die ganze Papille des Zweigvorkeims und demgemäss auch die ganze Aussenzelle am Stammsegment als Sprossanlage bezeichnen. Allein beide Annahmen halte ich für minder empfehlenswerth als die oben vertretene, wonach das durch die Papillarwand (Blattwand) abgeschnittene Stück in seinem acroscopen Theil von vornherein zur Blattbildung im basiscopen zur Sprossbildung hinneigt.

Die in diesem Abschnitte für die Zweigvorkeime besprochenen Verzweigungsverhältnisse finden sich in ganz analoger Form auch bei den Sporenvorkeimen, nur sind sie bei diesen nicht so scharf ausgesprochen.

Was die physiologische Ausbildung betrifft, so gilt das schon beim Sporenvorkeim Gesagte. Sowohl Axen als Blattvertreter der Zweigvorkeime können der Moospflanze als Wurzeln dienen, sie sind dann chlorophyllarm

und mit braunen Wandungen versehen. Beide können aber auch, wie Fig. 2 zeigt, über die Erde empor an's Licht dringen, sich mit Chlorophyll versehen und nun als Assimilationsorgane verwendet werden. Mit dieser Aenderung geht eine weitere Hand in Hand; während nämlich in den vom Lichte abgeschlossenen Theilen der Zweigvorkeime die Segmentwände stark gegen die Längsaxe des ganzen Organs geneigt sind, stehen sie in den oberirdischen Theilen zu derselben gewöhnlich fast rechtwinklig. Dass dies jedoch nicht immer stattfindet, zeigt in Fig. 5 ein Zweigvorkeim, von dem nur die zwei untersten der gezeichneten Gliederzellen in der Erde sich befanden.

Moosknospen.

Diejenigen Knospen, welche aus einem Vorkeime hervorgehen und zu einem beblätterten Moosstengel sich entwickeln, will ich, um sie von den später zu beschreibenden Brutknollen (Brutknospen) zu unterscheiden, kurzweg mit dem Namen Moosknospen bezeichnen, während dann unter Stammknospen die jungen Zustände seitlich aus dem Moosstengel entspringender Zweige zu verstehen sind.

Sporenvorkeim und Zweigvorkeim verhalten sich mit Beziehung auf Knospenbildung durchaus gleich und es gehen diese bei Beiden aus morphologisch gleichwerthigen Zellen hervor. Was ich also hier bei den Zweigvorkeimen über Knospenbildung sage, gilt zugleich auch für den Sporenvorkeim, bei dessen Beschreibung diese Verhältnisse noch nicht mit der nöthigen Genauigkeit behandelt werden konnten.

In den zahlreichen Fällen, wo ich die Bildung von Moosknospen beobachtete, war es, wie schon erwähnt, immer die Zelle β, welche als Mutterzelle dieser neuen Axe auftrat, und zwar gewöhnlich erst dann, wenn die Zelle α bereits einen Blattvertreter erzeugt hatte.

Folgt die Zelle β ihrer Tendenz eine Knospe hervorzubringen, so wölbt sie sich zuerst nach aussen schlauchförmig vor und schlägt nun eine besondere Wachsthumsrichtung ein (Fig. 5). Bald nach ihrer Streckung wird sie durch eine zu ihrer Längsaxe geneigte Wand in zwei Zellen getheilt. Diese Scheidewand (*n p* in Fig. 5 und die Wand über β in Fig. 7) trifft nach oben so ziemlich auf den äussersten Rand der Basilarwand, nach unten wendet sie sich der Papillarwand zu, schneidet diese jedoch gewöhnlich nicht, sondern trifft die freie Aussenfläche. Nach dieser ersten Wand treten in der unbegrenzt weiter wachsenden äusseren Zelle noch weitere Wände auf, die nach drei Seiten geneigt mit der Längsaxe des neuen Gebildes gewöhnlich einen um 45° schwankenden Winkel einschliessen (*Kn* in Fig. 6 und 7).

Zeigen schon die zwei ersten nach *n* folgenden Wände eine so starke Neigung, so schneiden sie dieselbe, wie es z. B. in Fig. 6 u. 7 bei *Kn* der Fall ist. Von da an schneiden sich dann je drei Wände, also 2, 3 und 4, dann 3, 4 und 5 etc., so dass wir eine nach drei Seiten Segmente ab-

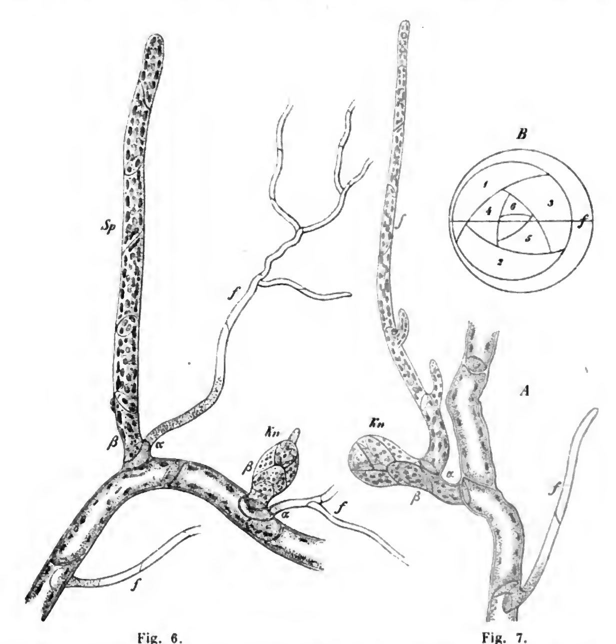


Fig. 6. Fig. 7.

Fig. 6. Zweigvorkeim von Bryum argenteum; α die Stelle der acroscopen, β die der basiscopen Papillarzelle; *f* die aus α hervorgehenden Blattvertreter; *Sp* ein in β entspringender Spross (Vorkeimaxe); *Kn* eine aus β hervorgehende Moosknospe.

Fig. 7. Zweigvorkeim von Barbula muralis; *B* schematischer Grundriss der Knospe *Kn*. Bezeichnungen wie bei Fig. 6.

schneidende Scheitelzelle haben, ähnlich der im ausgebildeten, an seiner Spitze jedoch noch fortwachsenden Moosstengel, und somit hat sich aus der Zelle β ein Moosstamm constituirt.

Je nachdem nun die Verhältnisse günstig sind oder nicht, wächst die Scheitelzelle weiter und fährt fort Segmente zu bilden und so ein Moosstämmchen hervorzubringen, oder aber sie bleibt eine Zeit lang in dem Fig. 6 und 7 dargestellten Stadium stehen, was ich daraus schliesse, dass

gerade Knospen dieser Ausbildung die häufigsten sind, während solche, die nur wenig älter oder nur wenig jünger sind, mir seltener zu Gesichte kamen.

Doch so, wie ich sie hier beschrieben, finden wir diese Verhältnisse nicht immer, sondern oft sind die ersten Wände noch nicht so stark gegen die Längsaxe geneigt und weiter von einander entfernt, so dass sie sich nicht treffen, und es erregt dann den Anschein, als wolle aus der Zelle β eine Zweigvorkeimaxe, also ein sehr gestreckter Moosstamm, hervorgehen (was ja in anderen Fällen auch wirklich der Fall ist). Nach und nach findet aber ein Uebergang von diesem Zellfaden zur Knospenbildung statt in der Weise, dass die Wände allmälig schräger werden und sich näher rücken. Zuerst schneiden sich je nur zwei Wände, dann auch drei, so dass wir zuletzt wieder die typische dreiseitige Scheitelzelle haben.

Auffallend ist, dass bei den einen Moosen, z. B. den Barbulaarten die Knospe in ihrer normalen Form gewöhnlich direct aus der Zelle β hervorgehen kann oder doch nur einer kurzen Vorbereitung bedarf, während bei anderen z. B. Encalypta vulgaris der gewöhnliche Fall der ist, dass aus β zuerst eine langgliedrige Vorkeimaxe hervorgeht, die sich erst nach und nach zu dem gedrungeneren Bau des Moosstammes verkürzt.

Nachdem die Scheitelzelle eine gewisse Anzahl von Segmenten gebildet, wölben sich die ältesten nach Aussen vor, und es tritt in ihnen die erste Wand, unsere Papillarwand (Leitgeb's Blattwand), auf. An denjenigen Segmenten, bei denen die zwei Hauptwände sich nicht schneiden, also z. B. bei den ersten Segmenten der Knospe von Encalypta, wölbt sich nur der oberste Theil des Segmentes papillenförmig vor, und es tritt die Papillarwand in ihrer typischen Form auf. Unsere typische Papillarwand und Leitgeb's Blattwand gehen allmälig in einander über, sie haben dieselbe Richtung, nämlich eine zur Längsaxe der Knospe ziemlich parallele, überhaupt zeigt sich hier beim Uebergang von der Vorkeimnatur zur Stammnatur besonders klar, dass diese beiden Wände ganz dieselbe Bedeutung haben; aber auch die anderen aufgestellten Beziehungen treten hier mit vollständiger Klarheit hervor.

Die aus den ältesten Knospensegmenten hervortretenden Blätter sind meist noch einfache Zellreihen, ähnlich den Blattvertretern der Vorkeime, und erst später angelegte Segmente sind im Stande, typisch gebaute, mit Rippen versehene Moosblätter zu entwickeln. Zwischen der ausgebildeten Blattform und dem fadenförmigen Blattvertreter finden sich die mannigfaltigsten Uebergänge.

Die Divergenzen der Blätter des aus β hervorgehenden Sprosses stellen sich so, dass der aus α entspringende Blattvertreter als erstes Blatt in der fortlaufenden Spirale aufgefasst werden könnte. (Man vergl. Fig. 7 *A* u. *B*.)

Wenn nun auch der Blattvertreter als erstes Glied der Blattspirale der

Knospe erscheint, so darf daraus nicht etwa geschlossen werden, dass er wirklich das erste Blatt des Laubsprosses ist, wie auch schon daraus hervorgeht, dass der Spross in vielen Fällen gar nicht erscheint; vielmehr weist dieses Verhalten auf tiefer liegende Wachsthumsgesetze hin, aus denen die morphologischen Unterscheidungen erst als secundäre abzuleiten sind.

Brutknollen (Brutknospen).

Die Brutknollen sind linsenförmige bis kugelige Zellkörper, die auf kurzen Stielen ausschliesslich den braunwandigen Axen der Zweigvorkeime ansitzen (Fig. 2 *B*). Sie sind dem unbewaffneten Auge sichtbar, schwanken jedoch sehr in ihrer Grösse. Ganz ausgebildete, nicht mehr weiter wachsende Brutknollen können aus nur etwa 15 Zellen bestehen, während andere deren über fünfzig aufweisen. Die Zellen sind am ganzen Gebilde gleichartig, polyedrisch, die Zellwände verdickt und von brauner Farbe. Die ausgebildeten Brutknollen zeigen in ihren Zellen kein Chlorophyll, dagegen sind sie reich an Reservenahrung, woraus schon einigermassen auf ihre biologische Bedeutung geschlossen werden kann.

Die Brutknollen gehen aus den Papillen hervor, wobei aber eine Differenzirung derselben in zwei sich verschieden verhaltende Tochterzellen α und β nicht eintritt, sondern die ganze durch die Papillarwand abgeschnittene Zelle geht ohne diese Differenzirung zur Bildung eines knollenförmigen Gewebekörpers, der Brutknolle, über.

Eine noch bildungsfähige Papille wölbt sich in einer zur Papillarwand senkrechten Richtung ziemlich weit vor und wird dann durch eine zur Wachsthumsrichtung geneigte Wand getheilt (Fig. 8 *A*). Die äussere Tochterzelle erfährt durch eine zweite, ebenfalls gegen die Längsaxe geneigte, auf der vorigen ziemlich senkrecht stehende Wand abermals eine Theilung. In der auf diese Weise entstandenen zweiseitigen Scheitelzelle können nun noch eine oder zwei mit den ersten parallele Segmentwände auftreten; dann aber hört die Segmentbildung in der Scheitelzelle auf (Fig. 9 *B*). In ihr sowohl als auch in den Segmenten treten nun Scheidewände in den verschiedensten Lagen auf, so dass zuletzt ein vielzelliger Körper resultirt, wie ihn Fig. 8 *C* und Fig. 9 *A*—*C* zeigen.

Die Keimung dieser aus Zweigvorkeimen hervorgegangenen Brutknospen (Brutknollen) ist meines Wissens noch nicht beobachtet worden. Dadurch, dass ich die mit ausgebildeten Brutknospen versehenen Kulturen (siehe Anmerkung S. 499) wieder feucht hielt, war ich in den Stand gesetzt, das weitere Verhalten derselben genau zu untersuchen. Als erstes Anzeichen einer weiteren Entwickelung tritt meistens in einem Theil der Zellen Chlo-

rophyll auf[1]). Aus einzelnen besonders protoplasmareichen Zellen, deren Lage aber keineswegs eine bestimmte ist, treten Vorkeimfäden hervor, die

Fig. 8. Brutknollen. *A* und *B* zwei verschieden alte Entwickelungsstadien, *C* ausgewachsene, nun keimende Brutknospe.

an ihrer Spitze unbegrenzt fortwachsen, überhaupt sich ganz gleich verhalten wie die Vorkeimaxen, zu welch letzteren ich sie auch rechnen will. (Vgl. Fig. 9 *C.*) Natürlich können aus den Papillen, welche an den aus der Brutknospe hervortretenden Vorkeimen entstehen, nun Blattvertreter

---

1) Es scheint, dass diese Chlorophyllbildung nur in den dem Lichte ausgesetzten Brutknospen auftritt, während die übrigen auch ohne Chlorophyll zu bilden zu den weiteren Entwickelungsstadien übergehen können.

und Vorkeimzweige, unter Umständen auch aus einer Zelle β ein Moosstämmchen hervortreten. Ausgebildete Moospflanzen hervorzubringen ist ja wohl der Zweck aller dieser Vorkeimbildungen, mögen sie nun in der Spore, am Stamm oder aus einer Brutknolle ihren Ursprung nehmen. Doch ist hier bei den Brutknollen ein solcher vorbereitender Vorkeim nicht immer durchaus nothwendig; es kann auch eine Vorkeimaxe ihre Segmente sehr verkürzen und so zu einem Moosstamme werden, der dann also direct aus der Brutknolle hervortritt (Fig. 9 *A—C*).

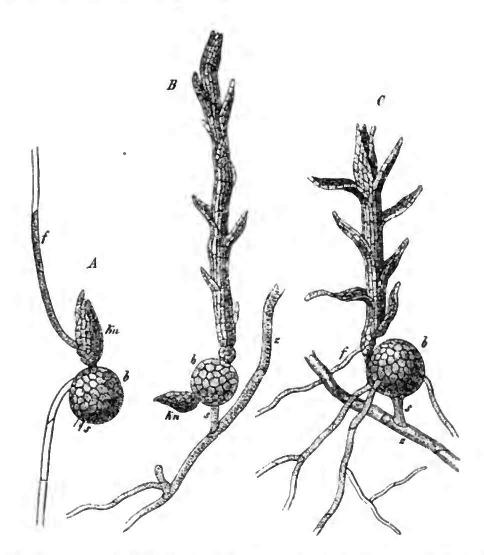


Fig. 9. *A—C*. Keimende Brutknollen (*b*) an Zweigvorkeimen (*z*), *s* Stielzellen, *kn* Moosknospen, *f* Blattvertreter.

In dem zuletzt angedeuteten Falle wird eine Zelle der Brutknolle zur Scheitelzelle des Moosstämmchens. Gewöhnlich steht die neu gebildete Moospflanze auch später nur durch eine einzige Zelle mit der Brutknolle in Zusammenhang, was darauf hinweist, dass die erste in der Mutterzelle des Stämmchens auftretende Hauptwand ausserhalb des eigentlichen Umfangs der Brutknolle auftritt (Fig. 9 *A*). Von diesem Punkte aus, wo das junge Pflänzchen auf seinem Querschnitte nur eine Zelle zeigt, geht es erst allmälig zur typischen Form über, und demgemäss können auch an Stelle der ersten Blätter fadenförmige Blattvertreter oder ganz einfach gebaute

Blätter sich befinden, und erst weiter oben am Stämmchen erreicht das Blatt die ihm eigenthümliche Ausbildung (Fig. 9 *B*).

Es kann das neu gebildete Moospflänzchen einen ziemlich hohen Grad der Entwickelung erreichen, indem es nur die in der Brutknolle angehäufte Reservenahrung aufnimmt (Fig. 9 *B*); in den meisten Fällen dagegen treten schon sehr frühe aus den unteren Zellen des Stämmchens oder aus seinem Ursprung benachbarten Zellen der Brutknolle Vorkeimfäden hervor, welche dann als Rhizoiden die weitere Zuführung von Nährstoffen besorgen (Fig. 9 *A* u. *C*).

Bei Tetraphis pellucida sitzen auf dem Scheitel besonderer Pflänzchen in eine Art von Kelch eingeschlossen Gebilde, die in ihrem Aeusseren an unsere Brutknospen erinnern und auch so benannt wurden. Ich hatte Gelegenheit die von Sachs auf Seite 320 des Lehrbuchs abgebildeten und andere Präparate zu sehen und zu vergleichen. Aus denselben scheint hervorzugehen, dass die Keimung dieser Gebilde ganz ähnlich derjenigen ist, welche ich soeben für die aus Zweigvorkeimen hervorgehenden Brutknollen beschrieben habe. Aus beliebigen Zellen können Vorkeime hervorgehen (Fig. 231), an diesen entstehen Blattvertreter, die nun aber nicht Zellfäden, sondern Zellflächen sind. Aus der Basis dieser Flächenvorkeime kann nun entweder eine weitere Vorkeimaxe hervorgehen (Fig. 231 *A*) oder aber diese Hauptaxe kann der Stamm einer Moosknospe sein (Fig. 231 *B*). Da ich nicht Gelegenheit hatte, ganz junge Entwickelungsstadien dieser Flächenvorkeime zu sehen, so kann ich nicht bestimmt sagen, ob der Flächenvorkeim aus der Zelle α einer Papille hervorgeht und unserem Blattvertreter entspricht, und ob auch hier die Vorkeimaxen (event. Moosknospen) immer in der Zelle β ihren Ursprung haben; die Möglichkeit ist jedoch nicht ausgeschlossen.

Ergebnisse.

Ueberblicken wir nochmals die aus meinen Untersuchungen hervorgegangenen Resultate, so scheinen folgende Beziehungen als die wesentlichsten:

1) Der Sporenvorkeim bereitet den complicirten Bau des Moosstammes vor.

2) Die ausgebildete Pflanze kann wieder zur Bildung eines solchen vorbereitenden Gebildes zurückgreifen und die Zweigvorkeime hervorbringen.

3) Sporenvorkeim und Zweigvorkeim sind morphologisch

und physiologisch gleichwerthig und zeigen sowohl in ihrem anatomischen Bau als auch in ihren Verzweigungsverhältnissen wesentliche Uebereinstimmung mit dem Moosstamm.

Was den letzteren Punkt anbetrifft, so will ich kurz noch einmal die wichtigsten Thatsachen recapituliren:

Eine Gliederzelle der Vorkeim-Hauptachse entspricht einem Segmente des Moosstammes. Das Segment des Letzteren wölbt sich nach aussen zur Blattwulst vor; dasselbe thut auch das gestreckte Segment des Vorkeims in seinem oberen Theil und bildet so die Papille. An beiden Orten tritt eine Längswand auf, hier die Papillarwand, dort die nach Leitgeb genannte Blattwand. Papillarwand und Blattwand haben dieselbe Bedeutung. Sie theilen das vorgewölbte Segment in zwei Zellen, eine innere, die nachher zur Bildung der Hauptaxe beiträgt und keine weiteren Sprossungen mehr hervorbringt, und eine äussere, welche die Tendenz hat, ein Blatt und einen Spross zu bilden.

Die Basilarwand theilt am Stamm die Aussenzelle des Segmentes, am Vorkeim die Papille in zwei Zellen, in eine acroscope α und eine basiscope β. Die Basilarwand hat immer eine zur Papillarwand (Blattwand) mehr oder minder genau rechtwinklige Lage; im Moosstamm trifft sie auf dieselbe, in den Vorkeimen kann dies ebenfalls stattfinden, sie kann hier aber auch, was wieder durch die Streckung der Glieder hervorgerufen wird, weiter nach oben rücken und dann die Papillarwand nicht mehr treffen.

Aber nicht nur ihrer Entstehung nach sind die Zellen α und β den acroscopen und basiscopen Aussenzellen am Moosstamme gleichwerthig, sondern auch ihre Tendenzen entsprechen denjenigen der genannten Zellen vollständig, d. h. die Zelle α kann ein Blatt oder einen Blattvertreter, die Zelle β unter Umständen einen Spross erzeugen; und zwar entstehen Sprosse am Vorkeim so gut wie am Stamm nur aus dieser Zelle.

4) Am Moosstamm ist die Bedeutung jeder einzelnen Zelle am Vegetationspunkt morphologisch scharf ausgesprochen, jede Aussenzelle erzeugt in ihrem acroscopen Theil ein Blatt und nach einer gewissen Zahl von Blättern wird der basiscope Theil einer Aussenzelle zum Spross. Viel unbestimmter und schwankender macht sich dasselbe Wachsthumsgesetz am Protonema geltend. Hier kann die Aussenzelle (Papille) des Segments einmal gebildet jedes weitere Wachsthum einstellen, oder sie macht nur den Anfang zu einem solchen, sie theilt sich in eine acroscope und eine basiscope Zelle, oder die eine dieser beiden allein bildet sich weiter aus, es entsteht bloss ein Blattvertreter oder bloss ein Spross, oder beide, Spross und Blattvertreter werden erzeugt, oder endlich die Differenzirung unterbleibt ganz; die ursprüngliche Papille wächst zwar rüstig fort, aber sie wird zu einer Brutknolle, in welcher Blatt und Spross noch gar nicht differenzirt sind. Die Unsicherheit in der morphologischen Ausbildung geht so weit, dass, wie es scheint, selbst zufällige äussere Verhältnisse darauf

hinwirken können, ob aus der primitiven Papille Spross und Blattgebilde oder ob daraus eine Brutknolle entstehen soll[1]).

5) Es wird nach dem bisher ausführlich Mitgetheilten kaum noch nöthig sein, darauf hinzuweisen, dass die besprochenen Vorkeime in der Entwickelungsgeschichte der Laubmoose dieselbe Rolle spielen wie die von PRINGSHEIM[2]) beschriebenen Vorkeimbildungen in der Entwickelungsgeschichte der Characeen, und dass es deshalb gerechtfertigt scheint, die von PRINGSHEIM für die Characeen eingeführten Bezeichnungen Sporenvorkeime und Zweigvorkeime auch auf die entsprechenden Gebilde der Laubmoose zu übertragen.

Wie die Sporenvorkeime der Characeen die Bildung des complicirter gebauten eigentlichen Charenstammes vorbereitet, wie aus dem Charenstamm selbst die Zweigvorkeime als vereinfachte Nachbildungen desselben und zugleich als vegetative Propagationsorgane hervorgehen, so sind auch die Sporenvorkeime der Laubmoose vorbereitende Gebilde, an denen sich das Wachsthumsgesetz des Moosstammes schon in seinen einfachsten Zügen geltend macht, und so sinkt auch andrerseits wieder der Gestaltungstrieb des Moosstammes auf seine allereinfachsten und wesentlichsten Momente zurück in der Bildung der Rhizoiden, die ich als Zweigvorkeime bezeichnet habe.

---

1) Kulturversuche zeigten mir, dass umgekehrte Barbula-Rasen, deren Zweigvorkeime durch Feuchthalten zu rascher Lebensthätigkeit gebracht wurden, dann Brutknospen erzeugten, wenn die Rasen bei nicht zu niedriger Temperatur allmälig trockener gehalten wurden. Es scheint, dass diese Brutknollen Anpassungsgebilde sind, welche die Pflanze gegen den Untergang durch Austrocknen schützen sollen.

2) Ueber die Vorkeime und nacktfüssigen Zweige der Charen Jahrb. f. wiss. Bot. III. 1863.

Nachträgliche Anmerkung:

Nachdem das Manuscript bereits in Druck gegeben war, gelang es mir, an mehreren Sporenvorkeimen zu sehen, dass auch Vorkeimaxen, die direct aus der Spore entspringen, an ihrer Spitze in eine Moosknospe übergehen können, eine Thatsache, die ebenfalls für meine Auffassung spricht, dass nämlich Vorkeimaxen und typische Moosstämmchen morphologisch gleichwerthig sind.

XV.

Untersuchungen über die Alkoholgährung.

Von

Dr. Oscar Brefeld.

Vorgetragen am 26. Juli 1873 in der physicalisch-medicinischen Gesellschaft zu Würzburg.

Ueber die Alkoholgährung liegen von Botanikern einerseits und von Chemikern anderseits eine Menge von Beobachtungen vor. Der Vorgang der Gährung hat eine botanische und eine chemische Seite; eine botanische, weil dabei die Hefe auftritt und eine Rolle spielt, ein kleiner einzelliger Organismus, welcher dem Pflanzenreiche, speciell den Pilzen angehört; eine chemische, weil dabei Processe vor sich gehen, die mit chemischen Zersetzungen Aehnlichkeit haben, deren Ausgangspunkt im Wesentlichen Zucker, deren Endresultat Kohlensäure und Alkohol sind, Verbindungen, welche einen bestimmten chemischen Charakter tragen und in der Chemie von Bedeutung sind. Von Chemikern, welche sich mit der Alkoholgährung beschäftigten, sind vornehmlich zu nennen Gay-Lussac und Pelouze, Dumas, Berzelius, Mitscherlich, Liebig, Traube, Pasteur. Die Zahl der Botaniker, welche die Hefe untersuchten, ist ungleich grösser, ich will darunter nur wenige hervorheben: Persoon, Cagniard de Latour, Schwann, Turpin, Meyen, Karsten, Ehrenberg, Fremy, Trécul, Hoffmann, Bail, Rees. Die Chemiker betrachteten im Anfange den Vorgang der Gährung naturgemäss vom chemischen Standpunkte, die Botaniker hingegen richteten, unbekümmert um die Gährung selbst, ihr Hauptaugenmerk auf den Organismus, die Hefe für sich. So ist es gekommen, dass man in der richtigen Erkenntniss der Ursachen der Gährung nur langsame Fortschritte machte und dass noch bis in die neueste Zeit hinein über wesentliche Punkte Controversen und Unklarheiten bestehen. Die chemische Seite lässt sich nicht vollständig ohne die botanische, und da diese ausser der

morphologischen noch eine speciell physiologische hat, also ihrerseits wieder nicht ohne die chemische richtig verstehen.

Es waren Cagniard de Latour und Schwann, welche in den Jahren 1836 und 1837 zuerst der Ursache der Gährung nachforschten. Cagniard beobachtete, dass die bei der Gährung auftretende Hefe ein Organismus sei, der sich durch Sprossung vermehre, er vermuthete schon ganz richtig, dass auf den Vegetationsprocess dieses Organismus, der Hefe, die bei der Gährung auftretende Kohlensäure und Alkohol zurückzuführen seien. Den Beweis aber des ursächlichen Zusammenhanges der Gährung von der Gegenwart der Hefe erbrachte Schwann. Er zeigte, dass die Gährung nicht eintrete, wenn man die Hefekeime tödtet; er vermuthete diese Hefekeime in der Luft und zeigte, dass in reiner gährungsfähiger Lösung keine Gährung eintrete, wenn man die zutretende Luft vorher ausglühte.

Als nun durch die Versuche Schwann's sicher gestellt war, dass die Gährung nicht ohne die Hefe stattfinden könne, war der Weg zu einer Erklärung des Vorgangs geebnet. Berzelius und Mitscherlich (1843 und 45) sagten einfach, die Hefe wirke als Contactsubstanz auf den Zucker ein und spalte ihn in Alkohol und Kohlensäure. Liebig stellte im Jahre 1843 die erste Gährungstheorie auf. Er fasste die Hefe in dem allgemeinen Sinne eines Fermentes als eine stickstoffhaltige, eiweissartige Substanz auf, welche wie viele andere, z. B. das Emulsin, chemische Zersetzungen zu bewirken vermöge. Liebig führte nun die Gährung auf die leichte Zersetzbarkeit dieser eiweissartigen Substanz zurück und dachte sich den Vorgang folgender Art: Der in Zersetzung begriffene Eiweissstoff besitzt die Fähigkeit, gewissen anderen Körpern den nämlichen Zustand der Bewegung zu ertheilen, in welchem sich seine Atome befinden, durch seine Berührung also mit anderen Körpern diese zu befähigen, Verbindungen einzugehen oder Zersetzungen zu erleiden. Indem Liebig die Hefe als lebenden Organismus ignorirte, machte er mit seiner Theorie einen entschiedenen Rückschritt. — Traube stellte 15 Jahre später eine zweite Theorie auf. Er meint, die Fermente seien aus der Zersetzung des Proteins, hier aus der Hefe hervorgegangene chemische Verbindungen, die zwar für sich nicht isolirbar seien, die aber die Fähigkeit besässen, freies O aufzunehmen und auf andere Verbindungen zu übertragen, die dadurch Zersetzungen erlitten. Die vermuthete Verbindung habe natürlich nach der Abgabe von O wiederum die Fähigkeit O aufzunehmen und von Neuem zu übertragen, und dieser Vorgang kann sich dann sehr oft wiederholen.

Die Theorie Traube's fand wenig Beachtung gegenüber der von Liebig gegebenen. Gestützt durch die grosse Autorität Liebig's fand sie allgemeine Verbreitung, so sehr, dass es sogar möglich wurde, die Thatsache, dass

das bei der Alkoholgährung wirkende Ferment ein lebender Organismus sei, zum zweiten Male als neue Entdeckung hinzustellen. Es war Pasteur, der sie machte, seine Arbeiten beginnen im Jahre 1857 und gehen bis in die neueste Zeit. Er bestätigte die Versuche Schwann's und stützte sie durch neue Beweise. Die Vermuthung Schwann's, durch Versuche gestützt, dass die Hefekeime in einer gährungsfähigen Flüssigkeit aus der Luft kämen, begründete er durch directe Beobachtung. Er filtrirte Luft durch Schiessbaumwolle, löste diese in Alkohol und Aether auf und wies die bei der Lösung zurückbleibenden Pilzkeime direct nach. Pasteur betrachtet sich, im Gegensatze zu Liebig, als Entdecker der Thatsache, dass bei der Alkoholgährung die Hefe die Gährung bewirke, dass die Gährung ein Vorgang der Lebensthätigkeit der Hefe sei, dass die Gährung Hand in Hand gehe mit dieser Lebensthätigkeit, d. h. mit der Entwicklung und mit der Vermehrung der Hefezellen und dass sie also nicht, wie Liebig meinte, ein Act der Zersetzung sei durch eine nicht lebende eiweissstoffartige Substanz.

Es handelte sich nun darum, die Lebensregungen bei der Vegetation der Hefe genau zu studieren. Diess ist mit vielem Erfolge von Pasteur geschehen. Pasteur fand zuerst, dass die Hefe für gewöhnlich wie alle lebenden Wesen zuerst O aufnehme und dafür Kohlensäure abgebe. (In anderer Form hatte diess schon Gay-Lussac ausgesprochen, indem er angab, dass zum Beginn der Gährung O nothwendig, später aber nicht mehr erforderlich sei.) Er fand weiter, dass die Gährung auch ohne freien Sauerstoff eintrete, und stellte hiernach folgende Theorie auf: Bei Gegenwart von freiem Sauerstoff lebt die Hefe wie alle anderen Organismen, sie erregt keine Gährung. Findet die Hefe den Sauerstoff aber nicht frei vor, so nimmt sie ihn zum Zwecke ihrer Lebensthätigkeit, ihrer Entwicklung und Vermehrung aus ihr zusagenden sauerstoffreichen Verbindungen. Durch diese Entnahme von Sauerstoff aus diesen Verbindungen, hier vom Zucker, wird der Gleichgewichtszustand gestört und er zerfällt in Kohlensäure und Alkohol, nebenbei werden noch etwas Bernsteinsäure und Glycerin gebildet. Die Hefe hat nach Pasteur zwei Arten zu leben: als Pilz, als Schimmel bei freiem Sauerstoff, als Ferment, wenn der Luftzutritt abgeschlossen ist. Pasteur zieht hieraus selbst die Consequenz, dass es Organismen giebt, speciell die Hefe, welche ohne Luftzutritt alle Acte der Lebensthätigkeit, der Entwicklung und Vermehrung vollziehen können, und er wies durch Gewichtsbestimmungen nach, dass in beiden Fällen, wenn auch ungleiche, so doch eine Vermehrung der Hefe stattfinde.

Diese von Pasteur aufgestellte Theorie hat jetzt ebensolche Verbreitung gefunden, wie die frühere von Liebig, sie ist, mit Ausnahme der Pflanzenphysiologen im Engeren, ganz allgemein angenommen.

Liebig, der inzwischen eingesehen hatte, dass seine Auffassung über die Natur des Alkoholferments nicht haltbar sei, und der zu seinem Missvergnügen wahrgenommen, dass er dadurch Pasteur Gelegenheit gegeben hatte, eine Entdeckung zum zweiten Mal zu machen, die von Schwann 20 Jahre früher gemacht war, nahm seine früheren Untersuchungen wieder auf und theilte das neue Ergebniss vor etwa vier Jahren mit.

Liebig's Ansicht über die Alkoholgährung lautete nun so: »Die Hefe besteht aus Pflanzenzellen, die sich in einer Flüssigkeit entwickeln und vermehren, welche Zucker, ein Albuminat und verwandte Körper enthält. Nur durch die Vermittlung der Hefezellen kann ein Albuminat und Zucker zu der eigenthümlichen Verbindung zusammentreten, in welcher sie als Bestandtheil des Pilzes eine Wirkung auf den Zucker äussert. Wenn der Pilz nicht mehr wächst, so löst sich das Band, welches die Bestandtheile des Zellinhaltes zusammenhält, und es ist die in demselben eintretende Bewegung, wodurch die Hefezellen eine Verschiebung oder eine Spaltung der Elemente des Zuckers bewirken.«

Ich will aus seiner Mittheilung noch einige Stellen kurz hervorheben. »In dem Processe der Gährung findet so zu sagen eine Wirkung nach aussen auf Stoffe statt, welche in Producte zerfallen, die von dem lebenden Organismus nicht weiter verwendbar sind. Der vitale Vorgang und die chemische Wirkung sind 2 Erscheinungen, welche in der Erklärung auseinander gehalten werden müssen.« Er führt weiter aus: »Der Ansicht, dass auf der Entwicklung und Vermehrung der Hefezellen die Zersetzung des Zuckers in der Gährung beruhe, steht die Thatsache entgegen, dass die Hefe in reiner Zuckerlösung Gährung hervorbringt, wo bei der Ermangelung stickstoff-, schwefel- und phosphorsäurehaltiger Verbindungen doch nur unbedeutende Vermehrung der Hefe stattfinden kann.« Liebig fand, (was auch schon Pasteur gefunden, aber von ihm anders verrechnet wurde), dass in reiner Zuckerlösung das Gewicht der Hefe mit der Gährung abnimmt, wenn ein bestimmtes Maass des Hefezusatzes überschritten wird, dass es hingegen zunimmt, wenn davon weniger zugesetzt wird.

Pasteur liess die wesentlich gegen seine Theorie gerichteten Einwendungen Liebig's (soweit sie die Alkoholgährung betreffen) unberücksichtigt, und es scheint, als ob diess allgemein geschehen sei, wenigstens sind Pasteur's Auffassungen nach wie vor im vollsten Ansehen.

Die Controverse in den Ansichten Pasteur's und Liebig's

besteht wesentlich darin, dass Pasteur die Gährung als den Ausdruck der Lebensthätigkeit, d. h. der Entwicklung und Vermehrung des Hefepilzes auffasst, aber einer Lebensthätigkeit unter besonderen Bedingungen unter dem Ausschlusse freien Sauerstoffs. Dieser zur Lebensthätigkeit sonst nothwendige freie Sauerstoff wird dann dem Zucker, einer sauerstoffreichen Verbindung, entnommen, es tritt Wachsthum und Vermehrung der Hefezellen, zugleich aber auch Gährung, ein Zerfallen des Zuckers in Kohlensäure und Alkohol etc. ein. Liebig hingegen meint, der vitale Vorgang und die chemische Zersetzung, die Gährung seien auseinander zu halten, die Gährung trete erst dann ein, wenn der Pilz nicht mehr wächst. Pasteur stützt sich auf die Thatsache, dass ohne freien Sauerstoff der Hefepilz Gährung errege, dass er dabei wächst und sich vermehre; Liebig auf die Thatsache, dass auch reine Zuckerlösung mit Hefe vergähre, wo das Wachsthum nur ein geringes sein könne. Gegen beide aber spricht die weitere Thatsache, dass in normaler Nährlösung, wo die Hefe thatsächlich wächst, Gährung eintritt dann, wenn sie mit ihrer Oberfläche dem freien Zutritt der Luft ausgesetzt ist. — Hiemit habe ich in Kürze den gegenwärtigen Standpunkt in Thatsachen und Ansichten über die Alkoholgährung dargelegt, ich will an dieser Stelle abbrechen und zur eigenen Untersuchung übergehen.

Es ist eine allbekannte Thatsache, dass alle lebenden Wesen zu ihrer normalen Lebensthätigkeit (abgesehen von ihren Nährstoffen) des freien Sauerstoffs bedürfen, dass sie alle, die Pflanzen sowohl wie die Thiere, athmen, d. h. freien Sauerstoff aus der Luft aufnehmen und dafür Kohlensäure abscheiden. Die Hefe nun, die die Gährung erregt, ist eine Pflanze, ein Pilz, welcher in organischen Nährflüssigkeiten lebt und zwar in solchen, welche ausser den stickstoffhaltigen und mineralischen Bestandtheilen vorzugsweise Zucker enthalten. Diese Nährflüssigkeiten müssen nun nach der allgemein geltenden Thatsache freien Sauerstoff aus der Luft aufgelöst haben, welcher zur Athmung, zur Lebensthätigkeit, kurz zur normalen Entwicklung der Hefe nothwendig ist. Normaler Weise müssen weiter bei dieser Lebensthätigkeit, wie es bei allen Pflanzen und Thieren geschieht, für ein Volumen eingeathmeten Sauerstoffes im höchsten Falle ein gleiches, sonst ein etwas geringeres Volumen an Kohlensäuregas wieder ausgeathmet werden, weil das Volumen-Verhältniss zwischen ungebundenem Sauerstoff und seiner Verbindung mit Kohlenstoff zu gasförmiger Kohlensäure ein Gleiches ist. Thatsächlich ist diess nun aber bei der Lebensthätigkeit der Hefe nicht der Fall. Die aus der gährenden Flüssigkeit, worin die Hefe lebt, ausgeschiedene Kohlensäure kann mehr wie um das 30fache die Athmungskohlensäure übertreffen. Dieses ganz abnorme Verhalten der Lebensthätigkeit der Hefe, diese ganz enorme Ausscheidung von Kohlensäure und

zugleich das Auftreten von Alkohol in der Flüssigkeit ist das, was man hier als Gährung bezeichnet, als Alkoholgährung, weil bei dem Vorgange Alkohol gebildet wird. Woher kommt nun diese Kohlensäure? Das ist die erste Frage. Athmungskohlensäure kann sie nur zum kleinen Theile sein, dem Theile nämlich, der etwa nahezu dem aufgenommenen Volumen Sauerstoff entspricht. Ihr Ursprung bedarf einer besonderen Erklärung und diese Erklärung ihres Ursprungs, ihres ursachlichen Zusammenhanges mit dem Leben der Hefe begreift die Erklärung des Processes der Gährung in sich. Die Frage nun, welcher Stoff der Nährlösung das Material zur Kohlensäure und Alkoholbildung hergiebt, lässt sich leicht beantworten, es ist unzweifelhaft der Zucker; auch die Frage, wodurch der Zucker die eigenthümliche Zersetzung erleidet, ist über jeden Zweifel sicher gestellt, es ist die lebendige Hefe. Wie und unter welchen Umständen kommt nun aber die Zersetzung des Zuckers zu Stande? Welches sind die Bedingungen der Gährung? Die Gährung tritt ein in normaler Nährlösung bei Luftzutritt z. B. in der Bierwürze; hier findet mit der Gährung eine bedeutende Vermehrung der Hefezellen statt. Die Gährung tritt aber ein auch bei Luftabschluss, sie tritt ferner auch ein bei alleiniger Gegenwart von Zucker, und es frägt sich nun weiter: Wie verhält sich hier die Hefezelle? Liebig und Pasteur sind bis zu dieser Frage gekommen, aber sie haben sie nicht weiter durch Thatsachen gestützt, sondern an dieser Stelle ihre Theorien begonnen. Der eine sagt (Pasteur), die Hefe wächst auch ohne freien Sauerstoff, die Gährung ist der directe Ausdruck dieser vegetativen Thätigkeit, die sich hier im speciellen Falle in der Form der Gährung anders äussert als sonst; der andere (Liebig) sagt, die Hefe kann in der blossen Zuckerlösung nur wenig wachsen, die Gährung ist hier aber sehr stark und diese starke Gährung kann unmöglich im normalen Verhältnisse zur Entwicklung, zur Lebensthätigkeit der Hefe stehen. Die Theorien beider stehen aber mit der Thatsache im Widerspruch, dass, wie in den Brauereien, die Hefe bei Luftzutritt Gährung erregt und zugleich erheblich wächst.

Es handelt sich hier in erster Linie offenbar um die Cardinalfrage: Kann denn die Hefezelle wirklich ohne freien Sauerstoff wachsen? Giebt es auf der untersten Stufe lebender Wesen eine Classe von solchen, deren Lebensbedingungen plötzlich anders sind, die, wie Pasteur meint, im Gegensatze zu allen anderen von gebundenem Sauerstoff leben, sich ernähren und vermehren können.

Die Frage zu beantworten ist nicht leicht. Es handelt sich bei streng wissenschaftlicher Genauigkeit nicht um Wägungen und Bestimmungen, die, wie die Pasteur'schen, Einwendungen und Hinterthüren offen lassen, sondern um die Beobachtung einer einzelnen Hefenzelle in den

verschiedensten Lebensbedingungen und namentlich unter absolutem Ausschlusse von freiem Sauerstoff. Sollen diese Versuche Werth haben, so ist ganz selbstverständlich, dass in jedem Falle Controlversuche zu machen sind, in welchen Hefezellen von derselben Cultur, in derselben Nährlösung[1]) zur selben Zeit ausgeführt, unter denselben Umständen zur Beobachtung hergerichtet unter normalen Lebensbedingungen, bei ungestörtem Zutritt freien Sauerstoffs der Luft, mitbeobachtet werden. — Ich leitete also zunächst über oder besser gesagt um eine Aussaat von Hefe in Bierwürze, in welcher sich die einzelne Hefezelle in einer geeigneten Kammer (von Geissler in Berlin nach Art der Recklinghausen'schen Kammern angefertigt) bei 300facher Vergrösserung wochenlang verfolgen liess, einen starken continuirlichen Strom von Kohlensäure. Die Kohlensäure wurde aus Marmor mit verdünnter Salzsäure gewonnen und zur Reinigung nur in einer Lösung von 2fach kohlensaurem Natron gewaschen. Der Apparat war so eingerichtet, dass der Strom ohne Unterbrechung wochenlang in beliebiger Stärke fortdauern konnte. Es zeigte sich bei dem ersten Versuche, dass die einzelne Hefezelle in Kohlensäure fortwuchs, nur erheblich langsamer als in der normalen Controlcultur. Das Wachsthum dauerte etwa 14 Tage hindurch fort, bis die Nährlösung erschöpft war und die Cultur, in welcher durch die Vermehrung der Zellen die Beobachtung der einzelnen am Ende unmöglich war, unterbrochen wurde. Es frug sich nun, da sich auch in weiteren Versuchen immer das gleiche Resultat herausstellte, die Hefezelle nämlich in gewöhnlicher Kohlensäure weiterwuchs, ob die Kohlensäure auch rein sei. Eine Probe durch Absorption der Kohlensäure mit Kalilauge die Menge etwa beigemengten fremden Gases zu bestimmen, ergab, dass sie bis $^1/_{700}$ Volumen nicht absorbirbaren Gases enthielt. Da dieses Gas nichts anderes als atmosphärische Luft war, diese zu etwa $^1/_5$ aus Sauerstoff besteht, so betrug die in der Kohlensäure als Verunreinigung enthaltene Menge Sauerstoff $^1/_{3500}$ Volumen. Ich versuchte nun in einer weiteren Versuchsreihe die Kohlensäure, ehe sie durch die Kammer geleitet wurde, zu reinigen resp. vom Sauerstoff zu befreien, und verwendete zu diesem Zwecke eine sehr concentrirte Lösung von pyrogallussaurem Kali, welche die Kohlensäure in einer 5 Zoll hohen Flüssigkeitssäule durchdringen musste, bevor sie in die Kammer kam. Die Versuche gelangen nicht, die Absorption des Sauerstoffs war nicht vollständig. Die Hefe wuchs zwar langsamer noch als früher, aber sie wuchs weiter. Die absolute Befreiung der Kohlensäure vom beigemengten Sauerstoff schien nach diesem Misserfolge kaum noch in einer für den speciellen Versuch zulässigen Weise möglich. Es blieb nur ein Mittel übrig. Hatte nämlich, wie aus dem Versuche vermuthungsweise hervorging, die Hefe die merk-

1) Es wurde als Nährlösung immer nur frische Bierwürze verwendet aus der Brauerei von Hrn. Dr. Böttinger in Würzburg.

würdige Fähigkeit, die so minimalen Quantitäten von Sauerstoff, die der übergeleiteten Kohlensäure beigemengt waren, zu ihrer Lebensthätigkeit an sich zu ziehen, so war nichts natürlicher als der Gedanke, mit dem Versuchsobjecte selbst die Kohlensäure vom Sauerstoff zu befreien. Ich wandte also in einer abermaligen Serie von Versuchen statt des pyrogallussauren Kali eine geeignete Culturlösung mit viel Hefe an und zwang die eingeleitete Kohlensäure durch geeignete Vorrichtung zur möglichst grossen und langen Berührung mit der Culturlösung. Nun wuchs die Hefezelle nicht, aber sie wuchs auch nicht weiter, als die Kammer geöffnet wurde, sie war aus nicht näher ermittelten Ursachen todt. Als auch diese Versuche, reine Kohlensäure zu bekommen, misslungen waren, versuchte ich endlich die Culturen in den Kammern mit möglichst gereinigter Kohlensäure durch Abschmelzen des Zu- und Ableitungsrohres luftdicht abzuschliessen. Diese wurden vorher zu einem feinen Röhrchen ausgezogen, die Culturlösung mit den einzelnen Hefezellen in die Kammer eingesogen und nun mehrere Stunden lang ein möglichst heftiger Kohlensäurestrom durchgeleitet, dann schnell während des Durchleitens mit dem Löthrohr die ausgezogenen Stellen der Leitungsröhren abgeschmolzen. In den Apparat war ein anderes weites Rohr eingeschaltet, dieses wurde ebenfalls abgeschmolzen, dann unter Kalilösung geöffnet und die Verunreinigung der Kohlensäure im speciellen Falle bestimmt, sie betrug z. B. $^1/_{1200}$ Volumen an Luft, also $^1/_{6000}$ Volumen Sauerstoff. Die mit der Kohlensäure eingeschmolzene winzig kleine Menge von Sauerstoff war nun den Hefezellen in der Cultur zu ihrer Entwicklung geboten. Es war nach den früheren Resultaten vorherzusehen, dass sie schnell verbraucht sein würde, und es handelte sich nun darum, ob dann noch ein weiteres Wachsthum der Hefe erfolgen könne. Bei den ersten Culturen dieser Art, die bei einer Zimmertemperatur von 13—14° C. angesetzt waren, wuchsen die Hefezellen 2 Tage, aus je einer Zelle wurde in einer Aussaat, worin bei 300facher Vergrösserung 5—6 einzelne Zellen im Gesichtsfelde lagen und je einzeln mit absoluter Sicherheit verfolgt werden konnten, etwa 5—8 neue Sprosse, dann stand, offenbar mit dem Verzehr des freien Sauerstoffes in der Kammer, das Wachsthum still. Aber die nicht mehr wachsenden Hefenzellen blieben zunächst am Leben, erst in einigen Tagen verloren sie ihr gewöhnliches Ansehen, die Vacuolen verschwanden und sie bekamen etwas dickere Membranen; dabei nahm der Zellinhalt ein gleichförmiges, völlig körnchenfreies, stark lichtbrechendes Ansehen an. Nach etwa 8—10 Tagen (verschieden, je nach der Temperatur) färbte sich der Inhalt gelb, die Zellen schrumpften stark zusammen und waren spätestens in 14 Tagen alle todt. — Es konnte nun gegen diese Versuche der Einwand erhoben werden, dass die Hefezellen etwa aus Mangel an Nahrung oder durch sonstige Ursachen so wie so zu Grunde gegangen wären. Wurde nun auch ein solcher Einwand durch die Controlcultur allein schon beseitigt, in welcher ein sehr starkes Wachsthum und

Vermehrung der Hefe bis zur völligen Verdunkelung des Gesichtsfeldes durch Hefezellen eintrat, ich begnügte mich nicht damit, sondern säete in den ersten Fällen in die Culturlösung der geöffneten Kammer, worin alles abgestorben war, mit Hilfe eines ausgeglühten, in reiche Hefemischung eingetauchten Platindrahtes frische Hefezellen aus. Sie wuchsen in jedem Falle wie in frischer Bierwürze aus und vermehrten sich durch den ganzen Culturtropfen. In den weiteren Fällen beobachtete ich die in den Kammern wie früher eingeschmolzenen Hefenzellen so lange, bis kein Wachsthum mehr erfolgte, dann wartete ich 2—4 u. 6 Tage, öffnete unter Abbrechen der Spitze die Kammer und liess Luft zutreten; jedesmal begannen die noch lebenden Hefezellen sofort neu auszuwachsen und sich wie früher zu vermehren. Ich will noch beifügen, dass im Sommer bei 25° C. die eingeschlossenen Hefezellen in der Frist von 12 Stunden die Spur von Sauerstoff in dem Culturtröpfchen und in der eingeschlossenen Kohlensäure der Kammer bereits verzehrt haben und von da an nicht weiter wachsen. Beim Oeffnen der Kammer unter Wasser war stets durch heftiges Austreten von Gas activer Druck bemerkbar, auch dann, wenn die Temperatur beim Oeffnen niedriger war, als beim Zuschmelzen. Der Druck nahm zu mit der Länge der Zeit, schon ein Beweis, dass die Gährung noch fortdauerte nach dem Stillstande des Wachsthums der Hefezellen.

Es geht aus diesen hier cursorisch beschriebenen Versuchen aufs Unzweifelhafteste hervor, dass die Hefe ohne freien Sauerstoff nicht wachsen kann. Pasteur's Annahme, dass die Hefe im Gegensatze zu allen anderen lebenden Organismen von gebundenem Sauerstoff leben und wachsen könne, entbehrt hiernach durchaus der thatsächlichen Begründung. Da weiter nach der Pasteur'schen Theorie auf eben dieser Eigenthümlichkeit der Hefe, von gebundenem Sauerstoff leben und wachsen zu können, der Process der Gährung beruht, so ist folgerichtig die ganze Theorie, die sich so allgemeinen Beifalles erfreut, unhaltbar geworden, sie ist einfach unrichtig. — Doch mit diesem negativen Resultate, dass die Hefe ohne freien Sauerstoff nicht wachsen kann, ist durch die mitgetheilten Versuche ein anderes entschieden positives Ergebniss gewonnen, die Thatsache nämlich, dass die Hefe innerhalb der Nährlösung eine wunderbare Anziehung zum freien Sauerstoff besitzt, dass einzelne Hefezellen in der kurzen Frist von einigen Stunden die minimalsten Mengen von freiem Sauerstoff aus weiter Umgebung an sich zu ziehen vermögen, mit ihrer Hilfe ihr Wachsthum, ihren natürlichen Lebensprocess zu vollziehen. Wollte ich durch einen Vergleich diese Anziehungskraft der Hefezellen für freien Sauerstoff klarer zu machen versuchen, so könnte ich an die Fähigkeit der grünen Blätter erinnern, im Lichte die Spuren von Kohlensäure

in der Luft zu ihrer Nahrung an sich zu ziehen. Von mehr chemischem Gesichtspunkte aufgefasst, könnte man nach diesem Verhalten der Hefe zum freien Sauerstoff dann, wenn ihr in Nährlösung die Möglichkeit des Wachsens gegeben ist, die Hefe auch als ein äusserst feines Reagenz auf freien Sauerstoff bezeichnen, geeignet, die feinsten Spuren nachzuweisen und zu entfernen. In dieser rapiden Anziehung für freien Sauerstoff steht die Hefe unter den Schimmelpilzen und ihren nächsten Verwandten fast einzig da. Sie vermögen in gewöhnlicher Kohlensäure, welche Spuren oder nur geringe Mengen von Sauerstoff beigemengt enthält, nicht zu wachsen, sie sterben in kürzerer oder längerer Zeit, verschieden nach den einzelnen Gattungen und Arten ab; nur eine einzige Ausnahme habe ich bis jetzt gefunden, die mit der Hefe übereinstimmt in der Anziehung zum freien Sauerstoff, es ist der *Mucor racemosus*, der (nebst seinen nächsten Verwandten) einzig unter seinen zahlreichen Stammesgenossen, wie die Hefe, in Zuckerlösung alkoholische Gährung hervorzubringen vermag.

Nach der Erledigung unserer ersten Frage durch die thatsächliche Constatirung, dass Hefe ohne freien Sauerstoff nicht wachsen kann, kommen wir nun zur zweiten. Sie lautet: Kann die nicht wachsende Hefe, die Hefe, welche keinen freien Sauerstoff vorfindet, in Zuckerlösung Gährung erregen? Zur Beantwortung dieser Frage leistete das gewonnene Resultat, die Eigenschaft der Hefe, den ihr gebotenen freien Sauerstoff schnell und vollständig an sich zu ziehen, vorzügliche Dienste. Ich füllte einen grossen Ballon von 3 Litre Inhalt mit einer ausgekochten 10procentigen Lösung von Candiszucker, vertheilte darin etwa 18 Gramm Hefe halbtrockener weicher Beschaffenheit und verschloss nun den Ballon mit einem doppelt durchbohrten mit zwei gebogenen Glasröhren versehenen Kautschukpfropfen so dicht als möglich. Zwischen dem Korke und der Flüssigkeit blieb in dem engen Halse des Kolbens ein lufterfüllter Raum von etwa 2 Zoll Höhe. Ich leitete nun bald nach dem Verschlusse durch das eine Rohr, welches bis nahe an die Oberfläche der Flüssigkeit ging, einen starken Strom von Kohlensäure über diese, welcher aus dem zweiten an seiner umgebogenen Spitze unter Quecksilber mündenden Rohre wieder austrat. Schon nach $^1/_4$—$^1/_2$ Stunde begann eine sehr starke Gährung, eine heftige Entwicklung von Kohlensäure in der Flüssigkeit, welche in Form kleinerer oder grösserer Blasen entwich. Als sie einige Stunden fortgedauert hatte, beschloss ich das Durchleiten von Kohlensäure, indem ich das Leitungsrohr an einer vorher dünn ausgezogenen Stelle abschmolz. In dem Ballon befanden sich geringe Mengen atmosphärischer Luft, welche die ausgekochte Flüssigkeit während des Erkaltens wieder gelöst hatte, sie war aber zum Theil, ebenso wie die Luft des todten Raumes, durch den stark übergeleiteten Strom von Kohlen-

säure wieder entfernt. Von dieser kleinen Menge freien Sauerstoffes, die also die Flüssigkeit enthielt, konnte die Hefe wachsen. Diese Mengen Sauerstoff mögen vielleicht den spurenhaften Verunreinigungen des weissen Candiszuckers entsprechen und den unvermeidlichen Beimengungen der Hefe, welche alle zusammen als Nährstoffe ein Wachsthum der Hefe, freilich nur ein sehr unbedeutendes, ermöglichen. Die Menge der in der Zuckerlösung suspendirten Hefe war so gross, dass bei 300facher Vergrösserung unter Deckglas das Gesichtsfeld mehrere hundert Zellen aufwies. Vermochten nun in den früheren Versuchen wenige, vielleicht der 50ste Theil der Hefezellen den freien Sauerstoff aus dem Tröpfchen Nährlösung und aus der weiten Umgebung von Kohlensäure in der Frist von 12 Stunden vollständig an sich zu ziehen, so kann man nach Analogie wohl mit Sicherheit schliessen, dass hier gleich mit dem Beginn der Gährung oder vielleicht nach einigen Stunden, aber doch sicher nach etwa 12 bis 24 Stunden aller in der Flüssigkeit vorhandene freie Sauerstoff verbraucht ist. Wenn nun die nicht wachsende Hefe keine Gährung zu erregen vermöchte, so müsste doch spätestens nach 24 Stunden in dem Ballon Stillstand eingetreten sein. Dies war aber nicht blos nicht der Fall, sondern die Flüssigkeit gohr 14 Tage lang fast ungeschwächt fort, so lange, bis aller Zucker in Kohlensäure, Alkohol, Bernsteinsäure, Glycerin etc. zersetzt war. Die zu verschiedenen Zeiten in Kalilösung aufgefangene Kohlensäure erwies sich als vollständig rein, sie wurde in Kalilösung vollständig absorbirt.

Es geht aus diesem Versuche wiederum mit Sicherheit hervor, dass die nicht wachsende Hefe Gährung zu erregen vermag. Die Nebenfrage, ob denn diese Hefezellen noch lebten, liess sich leicht entscheiden. Ich hob die klare ausgegohrene Flüssigkeit von dem Hefesediment ab, und untersuchte erstens eine Probe mit dem Mikroskop, dann weiter eine zweite im Wege der Cultur in normaler Nährlösung. Die Beobachtung ergab, dass die Hefe zum grossen Theile noch lebendig war, dass sie sich aber in dem eigenthümlichen Zustande befand, den ich früher beschrieben habe, ein Zustand, aus dem sie, mit Wasser benetzt, sehr bald zu normalem Aussehen zurückging. In den Culturen wuchsen die Hefenzellen freilich langsamer als sonst, aber doch mit wenigen Ausnahmen nach einigen Stunden aus[1]. Noch will ich bemerken, dass dieselbe Hefe nachher zwei Mal mit neuer Zuckerlösung versetzt, Gährung erregte, freilich in jedem späteren Versuche mit verminderter Energie, und der verminderten Energie entsprach das vermehrte Absterben der Hefezellen. Es ist also die lebende, nicht wachsende Zelle, welche in diesem

1) Eine zweite Nebenfrage, ob die Gährung erregende Hefezelle einen Stoff, eine Verbindung erzeuge, welche den Zucker spaltet, blieb nicht unberücksichtigt. Durch kein Mittel war es möglich, einen solchen Stoff zu gewinnen und rein darzustellen.

Falle Gährung zu erregen vermag, die Fähigkeit erlischt mit dem Tode der Hefe.

Bei der Kenntniss der hier mitgetheilten Thatsachen müssen wir nothwendig mit einigem Erstaunen fragen, woher es denn aber kommt, dass in Nährlösungen, deren Oberfläche der freien Luft ausgesetzt ist, wo nachweislich die Hefe ganz bedeutend wächst, die Erscheinung der Gährung auch eintritt? Wir haben ja gerade constatirt, dass die nicht wachsende Hefe es ist, welche Gährung in Zuckerlösung hervorbringt, und hier ist es ja doch die wachsende Hefe, welche, wenigstens dem Anscheine nach, die Gährung erregt. Hiermit sind wir an die dritte Frage gekommen, welche vornehmlich der Aufklärung bedarf.

Betrachten wir die sicheren Thatsachen, welche unsere Versuche lehrten, wenden wir sie mit ruhiger Ueberlegung auf die Vorgänge an, welche jede Beobachtung in der Technik leicht ergiebt, so verschwindet bald der scheinbare Widerspruch und jeder Vorgang lässt sich nicht nur mit Leichtigkeit durch die bekannten Thatsachen erklären, liefert vielmehr noch die weiteren sichersten Beweise für ihre Richtigkeit, wenn sie überhaupt weiteren Beweises bedürftig wären.

Wir wissen erstens, dass die Hefezellen die Fähigkeit besitzen, sich sehr schnell zu vermehren und, dieser schnellen Vermehrung entsprechend, den freien Sauerstoff zu ihrem Wachsthum aus den Medien, in welchen sie leben, rapide und vollständig an sich zu ziehen. Jede gährungsfähige Mischung, Maische, Würze u. s. w. erhält mit der Abkühlung diejenige Menge Luft, welche ihrer Lösungskraft für Stickstoff und Sauerstoff bei dem herrschenden Druck und der Temperatur der Lösung entspricht. Wird demnach Hefe in eine Flüssigkeit gegeben, welche ihr als Nährlösung dienen und gleichzeitig vergähren kann, so wird sie bald allen in der Flüssigkeit vorhandenen freien Sauerstoff bei ihrem rapiden Wachsthum an sich ziehen. Wir werden also im Beginne der Operation nur allein starkes Wachsthum der Hefe haben müssen. Jede Untersuchung mit dem Mikroskope bestätigt diese nach unseren Beobachtungen nothwendige Annahme als vollkommen richtig und zutreffend. Mit fortschreitendem Wachsthum wird der freie Sauerstoff in der Flüssigkeit verzehrt werden, und zwar muss diess in verschiedener Frist geschehen, um so schneller, je höher die Temperatur ist, welche das Wachsthum der Hefe so ausserordentlich begünstigt, und je mehr Hefe man zugesetzt hat; um so langsamer hingegen, je weniger Hefe man zusetzt und je weniger die Temperatur ihre Entwicklung fördert. In den Brennereien, wo bei 18° R. die Hefe zur Maische in grosser Menge zugesetzt wird, ist der freie Sauerstoff in 6 bis 8 Stunden verzehrt und die Gährung beginnt; bis zu diesem Punkte zeigt das Mikroskop, dass alle Hefe in lebhaftester Sprossung begriffen ist. In den Brauereien,

wo man die Gährung zu begrenzen sucht, die Temperatur durch Abkühlen auf 8° herabstimmt und weniger Hefe zur Erregung der Gährung zusetzt, dauert es ein bis zwei Tage bis sie beginnt, bis aller Sauerstoff in der Flüssigkeit verzehrt ist und damit das Wachsthum aufhört. Beim Most, welcher keinen Hefenzusatz bekommt, indem man die Hefekeime, welche aussen an der Schale der Trauben haften, als Gährungserreger verwendet, im Verhältniss zu den künstlichen Gährungen eine sehr geringe Menge, dauert es 4 bis 5 Tage, bis mit dem Stillstande des Wachsthums die Gährung anhebt. Mikroskopische Beobachtungen bestätigen genau diese Angaben. Ist nun durch lebhaftes Wachsthum im Anfange der freie Sauerstoff in der Gährflüssigkeit von der Hefe verzehrt, so wird neuer Sauerstoff von der Oberfläche her aus der Luft in die Flüssigkeit eindringen, diess kann aber nur langsam geschehen und bei weitem nicht mit der Schnelligkeit, als er durch die nun stark vermehrte Hefe verzehrt wird. Es ist ganz unmöglich, dass von aussen der Sauerstoff an alle Stellen der Flüssigkeit vordringt und zwar in dem Maasse, als er vergriffen wird, er wird vielmehr schon von den Zellen in der obersten Schicht festgehalten werden, und wo diess geschieht, wird Wachsthum der Hefe nach Massgabe der Zufuhr von Sauerstoff fortdauern. Im Innern der Flüssigkeit hingegen, wo die Luft verzehrt ist, befinden sich die Hefezellen in derselben Lage wie in den Kammern eingeschmolzen und wie in reiner Zuckerlösung, sie fahren fort den Zucker als Nährlösung in sich aufzunehmen, aber sie können ihn, eben weil der freie Sauerstoff fehlt, nicht zum Wachsen verwenden und scheiden ihn nun in zersetzter Form wieder ab.

Wir können also sagen, die Gährung tritt dann in der Flüssigkeit ein, wenn aller Sauerstoff verzehrt ist, und sie dauert fort, solange der Sauerstoff fehlt und überall dort, wo er fehlt, und solange als Zucker vorhanden und die Hefezellen lebendig bleiben.

Anfangs haben wir also nur Wachsthum, mit dem Ausgehen des Sauerstoffs in der Gährflüssigkeit tritt die Gährung ein, und Wachsthum findet nur mehr an der Oberfläche in unbedeutendem Grade statt, wo eben neuer Sauerstoff hingelangt.

Der Process zerfällt in zwei Abschnitte: in einen ersten kurzen des Wachsthums und einen zweiten langen der Gährung. Beide Processe folgen sich der Zeit nach, der erste hört auf mit dem Consum des freien Sauerstoffes; der zweite beginnt erst nach dem Verzehr desselben. Nichts ist leichter zu beobachten, als dass die gährende Hefe nicht wächst. Hiefür bietet der Most das günstigste Object. Hier gährt die Hefe, in beschränkter Menge vorhanden, vollständig aus, beim Bier u. s. w. lässt man sie nur bis zum bestimmten Punkte gähren, um sie für weitere Vermehrung und Cultur zu verwenden. Bis zum Beginne der Gährung beim Most sprosst die Hefe in der Flüssigkeit, sie ist schwer, die gesunde, kräftige Hefe und

sinkt mit der mechanischen Verunreinigung zu Boden. Im dicken Niederschlage, der sich zusammenballt, wird bei der Menge der Hefe zuerst der Sauerstoff verzehrt sein, in ihm die Gährung, die Abscheidung der Kohlensäure beginnen. Sie beginnt so stark, dass das ganze Sediment durch die Kohlensäure nach oben mitgerissen wird. Es sinkt allmählich, die Hefe wird durch die Bewegung in der Flüssigkeit vertheilt mit sammt dem Niederschlage. Die letzten Reste von Sauerstoff werden verzehrt und die Gährung beginnt in allen Zellen. Eine Probe zeigt, dass das Wachsthum aufgehört hat. Mit der Gährung wird die Hefe aufgetrieben, der mechanisch mitgerissene Schmutz senkt sich, und nach einigen Tagen schon ist die Hefe allein in der Schwebe, der Most hat den Zustand, den man Federweiss nennt. Die Hefezellen in ihm schwimmen fast alle einzeln, von Sprossung, Wachsthum ist keine Spur zu sehen. Ein kleiner Theil der Hefezellen hat nur geringe Grösse, es sind nicht besondere Hefeformen, vielmehr nicht ganz ausgewachsene Zellen, für deren vollkommene Entwicklung der Sauerstoff zu früh ausgegangen ist[1]). Alle Zellen, kleine und grosse, befinden sich in dem beschriebenen homogenen lichtbrechenden Zustande, und dieser ist es, welcher dem Moste eine federweisse Farbe giebt. Ich kann nur annehmen, dass sich noch niemals Jemand die Mühe gegeben hat, die Hefe während der Gährung, und zwar während ihrer vollkommenen Gährung, die nur beim Wein in der Technik vorkommt, von Anfang bis zu Ende gradatim anzusehen; die grosse Verschiedenheit zwischen wachsender und gährender Hefe kann gar nicht übersehen werden. Wäre es geschehen, so beständen in den Hauptfragen längst keine Meinungsverschiedenheiten mehr, und Theorien wie die Pasteur'sche wären unmöglich gewesen. Was ich früher im Kleinen beobachtet habe, bietet hier das Experiment im Grossen mit allen Einzelheiten in einer Klarheit und Uebereinstimmung, die Nichts zu wünschen übrig lässt. — Somit stimmen die Vorgänge in der Technik ganz genau mit unseren wissenschaftlichen Beobachtungen, hier besteht nicht nur nichts Unnatürliches, der Erklärung Widersprechendes, man müsste sich im Gegentheile wundern, wenn es anders wäre. Da nun Wachsthum und Gährung einander ablösende Vorgänge sind, Vorgänge, welche in grossen Mengen von Flüssigkeit an ihren verschiedenen Stellen recht gut neben einander hergehen können, so dass an einer Stelle der Flüssigkeit schon Gährung eintritt, während an einer andern das Wachsthum der Hefezelle noch fortdauert, so müssen wir nothwendig auch noch die Nebenfrage berücksichtigen, ob denn etwa auch ein und dieselbe Zelle zugleich wachsen und Gährung erregen kann? Diese Frage ist kaum mit Sicherheit direct zu beantworten; wir wollen ihr nach

1) Freilich lassen sich verschiedene Hefeformen in der Weinhefe unterscheiden, es sind nicht alle kleine Zellen nicht ausgewachsene Junge, ein Theil stellt wohl besondere Formen dar; es ist jedoch nicht hier der Ort näher auf diesen Punkt einzugehen.

Möglichkeit indirect näher zu treten suchen. Wir wissen, dass die Gährung ohne Wachsthum entsteht; die 2te Hauptversuchsreihe lässt hierüber keinen Zweifel bestehen. Wir haben auch durch directe Beobachtung sichergestellt, dass in einer gährungsfähigen Flüssigkeit zu Anfang Wachsthum, erst später die Gährung sichtbar eintritt; es erübrigt aber zunächst noch mit Sicherheit zu constatiren, dass Wachsthum ohne Gährung eintritt. Wenn wir auch sehen, dass die Hefe anfangs wächst ohne bemerkbare Gährung, so ist diess noch kein Beweis, dass wirklich keine Gährung eintritt, sie kann ja sehr gering sein, so gering, dass sie äusserlich nicht bemerkbar wird. Den Beweis für die Gährung dürfen wir aber nicht in einer sichtbaren Kohlensäureabscheidung suchen, wir müssen vielmehr auf die Bildung von Alkohol das Hauptgewicht legen und auf seine An- und Abwesenheit prüfen, wenn wir sicher sein wollen, ob geringe Gährung eingetreten ist oder nicht. (Man könnte mir ja auch gegen meine bisherigen Versuche einwenden, dass die Hefe die Eigenschaft habe, immerfort während ihrer Entwicklung Zucker zu zerzetzen, um daraus Alkohol und Kohlensäure zu bilden, dass aber erst mit fortschreitender Vermehrung mit der Masse der Hefe diese Eigenthümlichkeit als Gährung sichtbar werde; darum ist diese Frage sicher zu entscheiden, nicht ohne fundamentale Wichtigkeit.)

Ich machte meine Versuche über Wachsthum der Hefe ohne Gährung zunächst in der Art, dass ich ein bestimmtes Quantum Hefe auf ein grosses Filter verbreitete und den Trichter mit dem Filter in eine Nährlösung tauchte, so dass nur die Spitze des Filters die Nährlösung aufsaugte. Die Versuche misslangen vollständig. Jede, auch die reinste Hefe enthält Keime von Schimmelpilzen beigemengt, und diese Keime gewinnen an der Luft gegen die Hefe sofort die Oberhand, während sie umgekehrt in Flüssigkeit von der Hefe überwunden werden, gegen die sie nicht aufkommen können. So war es auch hier; nach 2 Tagen war die Hefe verschimmelt und damit der Versuch illusorisch geworden. Da diese Versuche zugleich lehrten, dass man eine grosse Oberfläche der Culturflüssigkeit möglichst vermeiden muss, wenn man die Entwicklung der Schimmelpilzkeime ausschliessen will, durch eine vergrösserte Oberfläche aber, durch vergrösserte Berührung der Flüssigkeit mit der Luft ihre Erschöpfung an Sauerstoff oder was dasselbe ist, der Ausschluss der Gährung beim Wachsen der Hefe vermieden werden kann, so sann ich darauf, eine Nährlösung für Hefe herzustellen, in welcher der Zucker durch einen anderen Stoff ersetzt ist, welcher Wachsthum der Hefe befördern kann, ohne durch Hefe in Art des Zuckers zu vergähren. Ich probirte Mannit, Dextrin, Milchzucker u. s. w., aber in allen Lösungen wuchs die Hefe nicht. Schon glaubte ich, dass es überhaupt wohl nicht gelingen werde, hier sichere Beweise für die kritische Frage beizubringen, als ich bei ausgiebigeren Kenntnissen in der Gährung und bei der Einsicht in die Technik der verschiedenen Gährmethoden so einfach als möglich zum Ziele gelangte. Ich überzeugte mich, dass bei der

Bereitung des Weines, welcher bekanntlich durch Selbstgährung d. h. durch die Hefe bereitet wird, welche aussen auf den Schalen der Trauben haftet, das Wachsthum der Hefe 3—5 Tage andauert, ehe Gährung sichtbar wird. Wiewohl sich schon hier mit Leichtigkeit beweisen liess, dass nicht eine Spur von Alkohol gebildet wird, so lange die Hefe wächst bis zu dem Punkte, wo sie in Menge in der Flüssigkeit vorhanden ist, so machte ich doch noch zum ganz sicheren Beweise den Versuch in etwas veränderter Art nach. Ich nahm eine grosse Menge frischer, ausgekochter ganz klar filtrirter Würze, setzte hierzu soviel Hefe, als an einer Nadelspitze hängen blieb, also eine ganz unwägbare Spur. Im warmen Zimmer im ganz gefüllten Kolben trat die lebhafteste Sprossung und Vermehrung der Hefe ein. Ich trug am Abende den Kolben in eine Temperatur bis Null, wo die Hefe schnell zu wachsen nachlässt und Gährung vermieden wird. Am andern Morgen hatte sie sich in einer dünnen Lage am Boden des Kolbens abgesetzt. Ich zog die Würze nun auf einen 2ten Kolben ab und brachte die Hefe auf's Filter. Bei Tage stellte ich den Kolben wieder warm und liess ihn während der Nacht abkühlen. Die Vermehrung der Hefe überschritt so niemals den Punkt, wo der Sauerstoff in der Flüssigkeit ausgeht und Gährung beginnt, weil eben zu wenig Hefe im Kolben ist. Die frisch gewachsene Hefe ist sehr schwer, sie senkt sich beim Abkühlen leicht zu Boden, und so kann der tägliche Ueberschuss entfernt werden, es bleibt dann in der Flüssigkeit zur weiteren Entwicklung noch genug zurück.

In dieser Weise wurde es mir leicht, eine grosse Menge von Hefe durch Wachsthum zu gewinnen und Gährung auszuschliessen.

Die abdestillirte Würze ergab nicht eine Spur von Alkohol im Destillat. — So sicher nun also Gährung ohne Wachsthum der Hefe eintritt, ebenso sicher erfolgt Wachsthum ohne jede Gährung. — Gehen wir nun zur ersten Frage zurück, ob auch Wachsthum und Gährung in einer Zelle zugleich stattfinden kann, so kann man sich vom rein theoretischen Standpunkte aus beide Vorgänge in einer Zelle vereinigt recht wohl denken, ob es aber in Wirklichkeit so ist, wie man sich vorstellen kann, ist eine andere Frage, die nicht sicher zu entscheiden ist. Die Hefe braucht Zucker, Nährsalze und freien Sauerstoff zum normalen Wachsthum. Wenn nun alle drei in dem Verhältnisse von der Hefezelle aufgenommen werden können, welches der normalen Ernährung, dem normalen Wachsthum entspricht, dann tritt keine Gährung ein, sowie aber mehr Zucker aufgenommen wird, resp. die Nährlösung im Augenblick mehr Zucker enthält als Nährsalze und Sauerstoff, also von einem Nährstoff mehr als der Mitwirkung und der Gegenwart und Mitwirkung der anderen zur vollkommenen Weiterentwicklung entspricht, so wird dieser in Missverhältniss aufgenommene und daher zum Wachsen nicht gleich verwendbare Zucker in Alkohol und Kohlensäure u. s. w. zersetzt, abgeschieden. Hat in einer Nährflüssigkeit zugleich

Vermehrung der Hefe und Gährung stattgefunden, so ist sicher, dass anfangs bloss Vermehrung, am Ende nur Gährung eintrat, ob nicht aber in einem Punkte, ehe der Sauerstoff in der Flüssigkeit zur Neige ging, schon neben langsamerem Wachsthum eine gelinde Gährung eintrat, ob also beide zu Anfang und zu Ende getrennte Vorgänge nicht kurze Zeit neben einander bestehen, oder ob sie der Zeit nach vollkommen getrennt auf einander folgen, kann durch Versuche nicht erwiesen werden.

Ich will die Thatsachen der Untersuchung in dieser Mittheilung nicht weiter ausdehnen, sie reichen hin, um uns den Begriff der Gährung klarer zu machen, als es bisher möglich war, ihr einen präciseren, das Wesen der Thatsache besser aussprechenden Ausdruck zu geben:

Die Vergährung des Zuckers durch Hefe ist der Ausdruck einer abnormalen, unvollkommenen Lebenserscheinung und diese Lebenserscheinung tritt dann ein, wenn die zur normalen Entwicklung der Hefe nothwendigen Nährstoffe nicht in zutreffender Weise zusammenwirken. Die Gährung ist eine pathologische Erscheinung, welche anfängt mit dem Momente, wo die Hefe in nicht erschöpfter Nährlösung nicht mehr wachsen kann, die aufhört mit dem Tode der Hefezelle.

Bei den Eigenschaften der Hefe, rapide zu wachsen und dem entsprechend schnell und energisch den freien Sauerstoff an sich zu ziehen, bei der weiteren Eigenthümlichkeit in Flüssigkeiten zu leben, die nur verhältnissmässig wenig gelösten Sauerstoff zur Verfügung haben, ist es ganz begreiflich, dass die einer solchen Pflanze normal entsprechenden Lebensbedingungen nur für kurze Zeit obwalten können, dass sie durch sie selbst bald abnormal werden und nun hierdurch die abnormale Lebenserscheinung, die Gährung eintritt; beide, die abnormale und normale, können in ein und derselben Nährlösung neben einander, vielleicht sogar in einer Zelle mit einander gehen. Weiter geht unsere Aufklärung vorläufig nicht und wollen wir die Frage weiter stellen, wie es kommt, dass die Hefe diese eigenthümliche abnormale Lebenserscheinung zeigt, wie es kommt, dass sie sie wochenlang zeigt, so ist die Antwort einfach und kurz — das wissen wir nicht. Es ist eine Lebenserscheinung abnormaler Art, deren Bedingungen und Resultate zunächst der Erklärung bedürfen, deren Urgrund uns wenigstens vorläufig verschlossen bleibt. Hier fängt die Hypothese an, welche ich vorläufig von meiner Fragestellung ausgeschlossen habe.

In nachstehenden Sätzen will ich die Hauptergebnisse der Untersuchung kurz zusammenfassen.

1. Die Alkohol-Hefe hat, wie alle Pflanzen, zu ihrer vegetativen Entwicklung und Vermehrung die Mitwirkung des freien Sauerstoffs nöthig.

2. Bei Luftabschluss, beim Abschluss von freiem Sauerstoff kann die Hefe in Nährlösung nicht wachsen.
3. Es ist unrichtig anzunehmen, dass die Hefe statt freien, gebundenen Sauerstoff für ihre Entwicklung und Vermehrung aus sauerstoffreichen Verbindungen, wie z. B. Zucker, entnehmen kann.
4. Es ist weiter unrichtig, dass auf dieser der Hefe zuerkannten Eigenthümlichkeit von gebundenem Sauerstoff zu vegetiren, zu wachsen, der Process der Gährung beruht.
5. Die nicht wachsende, vom Zutritt des freien Sauerstoffs abgeschlossene lebende Hefezelle erregt in Zuckerlösung alkoholische Gährung.
6. Die Hefe geht in diesem Falle allmählich in einen eigenthümlichen Zustand über, in welchem sie sich durch gleichmässigen, körnchenfreien Inhalt, Mangel an Vacuolen, starkes Lichtbrechungsvermögen und dicke Membramen in höchst charakteristischer Weise von der wachsenden sprossenden Hefe auszeichnet. In Wasser quillt die in diesem Zustande noch lebendige Hefe von Neuem auf und zeigt nun das bekannte Ansehen der theilweise vergohrenen Zellen, wie sie in den Gährbottichen nach der Gährung und auch im Handel vorkommen.
7. Die Gährung ist der Ausdruck eines abnormalen unvollkommenen Lebensprocesses, bei welchem die zur Ernährung der Hefe nothwendigen Stoffe, Zucker, stickstoffhaltige und mineralische Bestandtheile und freier Sauerstoff, nicht alle gleichzeitig und harmonisch zusammenwirken zum Wachsthum der Hefe. Der hierzu allein oder im Missverhältnisse zu den übrigen Nährsubstanzen aufgenommene Zucker wird von der Hefezelle in Kohlensäure und Alkohol u. s. w. zersetzt wieder ausgeschieden.
8. Die Hefe vermag diesen abnormalen Lebensprocess unter langsamer Abschwächung ihrer Lebenskraft wochenlang fortzusetzen. Allmählich gährt sie sich zu Tode, wenn der Zuckergehalt der Nährlösung weiter reicht, als ihre Lebenskraft. Ist diess nicht der Fall, der Zucker der Nährlösung vergohren, die Kraft der Hefe nicht erschöpft, so vermag sie wenigstens 9 Monate lang in dem in 6 geschilderten Zustande lebensfähig auszudauern.
9. Die Hefezelle hat in Nährlösung eine grosse Anziehung zum freien Sauerstoff, sie vermag so in Kohlensäure zu wachsen, welche weniger als $^1/_{6000}$ Volumen freien Sauerstoff enthält, und den Sauerstoff vollständig aufzunehmen. Die Hefe ist durch diese Eigenschaft als ein äusserst feines Reagens auf freien Sauerstoff anzusehen.
10. Diese Anziehung zum freien Sauerstoff ist eine besondere Eigenthümlichkeit der Hefe, sie kommt den Schimmelpilzen, mit Ausnahme des *Mucor racemosus* und seiner nächsten Verwandten, nicht zu.

11. Durch die starke Anziehung der Hefe zum freien Sauerstoff, verbunden mit ihrer Eigenthümlichkeit, in Flüssigkeiten zu leben, sich sehr schnell zu vermehren und zu wachsen, tritt in den flüssigen Medien, worin die Hefe wächst, leicht Mangel an freiem Sauerstoff und damit die Erscheinung der Gährung ein, wie z. B. in den Brauereien, in der Technik, mit anderen Worten, die Hefe bringt sich selbst in abnormale Lebensverhältnisse.

12. Es lässt sich nachweisen, dass die Hefe unter den geeigneten Umständen bei normaler Ernährung wächst ohne Gährung zu erregen, es lässt sich weiter sicher stellen, dass Gährung ohne Wachsthum der Hefe eintritt.

13. In Nährflüssigkeiten, welche mit ihrer Oberfläche der Luft ausgesetzt sind, erfolgt Wachsthum und Gährung an verschiedenen Stellen zugleich, die Gährung dort, wo der freie Sauerstoff verzehrt ist, das Wachsthum dort, wo er noch vorhanden und von Neuem zutreten kann.

14. Da Wachsthum und Gährung nach der Gegenwart und dem Mangel von Sauerstoff in der Nährflüssigkeit sich ablösende Erscheinungen sind, so ist vom rein theoretischen Standpunkte aus die Möglichkeit nicht ausgeschlossen, dass Wachsthum und Gährung eine kurze Zeit in einer Hefezelle zugleich stattfinden können, dass also die wachsende Hefezelle den im Missverhältniss zum gebotenen freien Sauerstoff aufgenommenen Zucker vergährt.

XVI.

Ueber die Dehnbarkeit wachsender Sprosse.

Von

Dr. Hugo de Vries.

In Anschluss an die von Sachs in der 3. Auflage des Lehrbuchs des Botanik S. 683—694. veröffentlichten Untersuchungen über die allgemeinen Eigenschaften wachsender Pflanzentheile, habe ich im botanischen Institut zu Würzburg einige Versuche gemacht über die Vertheilung der Dehnbarkeit und der mit dieser verwandten mechanischen Eigenschaften der wachsenden Strecke der Stengel, und die Beziehung der Vertheilung dieser Eigenschaften zu der Curve der Partialzuwachse aufgesucht. Der Zweck dieser Arbeit war die Gewinnung von Anhaltspunkten für eine Untersuchung derjenigen physikalischen Eigenschaften der wachsenden Zelle, welche bei der Theorie des Wachsthums die bedeutendste Rolle spielen. Ich theile die durch diese vorläufigen Versuche gewonnenen Resultate hier mit, weil die Untersuchung selbst lange Zeit in Anspruch nehmen dürfte, und die Kenntniss der gefundenen Thatsachen, wie ich glaube, in manchen Punkten zur Vermeidung von Irrthümern und zu einer klareren Einsicht in die zu lösenden Probleme führen kann. Aus dem nämlichen Grunde sei es mir erlaubt, einige theoretische Auseinandersetzungen voraus zu schicken, deren Zweck wesentlich nur der ist, eine genaue Fragestellung zu ermöglichen. Ich schliesse mich dabei ganz an die von Sachs l. c. S. 699. dargelegten Principien an.

Nach der von ihm gegebenen Darstellung hat man sich die Vorgänge in einer wachsenden Zelle folgendermaassen vorzustellen. Der Inhalt der Zelle zieht aus der Umgebung mit bedeutender Kraft Wasser an sich, und sucht sich dadurch zu vergrössern. Dieses verursacht einen Druck auf die Zellhaut, welcher diese ausdehnen wird. Giebt die Zellhaut nach, so nimmt der Inhalt von Neuem Wasser auf und vergrössert sich. Da aber die

Zellhaut elastisch ist, d. h. ihren früheren Zustand zurück zu erlangen strebt, setzt sie der Ausdehnung einen Widerstand entgegen, welcher bei stets zunehmender Dehnung endlich der dehnenden Kraft gleich werden kann. Der Inhalt übt also einen Druck auf die Haut aus, vermöge seiner Anziehungskraft zum Wasser, die Haut übt vermöge ihrer Elasticität einen, selbstverständlich im Gleichgewichtszustande jenem gleich grossen Druck auf den Inhalt aus. In diesem Zustand heisst die Zelle turgescent, der Druck des Inhaltes auf die Haut heisst der Turgor.

Aus einfachen Versuchen und Beobachtungen lassen sich nun folgende für die Beurtheilung der Vorgänge in einer solchen Zelle, werthvolle Thatsachen folgern.

1. Die Turgescenz ist eine Bedingung des Wachsthums. Dieser Satz lässt sich daraus folgern, dass das Wachsthum im welken Zustand aufhört oder doch sehr gering wird, dass es aber durch reichliche Wasserzufuhr gesteigert wird.
2. Wachsende Zellhäute sind in hohem Maasse dehnbar. Man kann sich von dieser Thatsache bei jedem nicht spröden Spross mit grosser wachsenden Strecke durch Dehnung mit den Händen leicht überzeugen; beim langsamen Ziehen beobachtet man vor dem Zerreissen des Sprosses oft eine schon ohne Messung sichtbare Verlängerung. Derselbe rohe Versuch lehrt aber auch, dass zu dieser Dehnung eine ziemlich beträchtliche Kraft erforderlich ist (vergl. auch Sachs, l. c. S. 689).
3. Wachsende Zellhäute sind sehr elastisch. Führt man in dem letzterwähnten Versuch die Dehnung nicht bis zum Zerreissen, so verkürzt sich der Spross sofort nach dem Aufhören der Dehnung. Die Verkürzung ist anfangs rasch und bedeutend, wird aber bald sehr langsam; diese langsame Verkürzung kann ziemlich lange anhalten, wie man durch Auftragen von Marken auf den Spross vor der Dehnung und durch Messung der Distanzänderungen dieser Marken beobachten kann. Es scheint, dass bei einigermaassen beträchtlicher Dehnung die Sprosse auch durch diese langsame, nachträgliche Zusammenziehung nie wieder genau auf ihre frühere Länge zurückkehren, m. a. W., dass ihre Elasticität keine vollkommne ist.

   Es leuchtet ein, dass sowohl die Dehnbarkeit der Sprosse als ihre Elasticität in erster Linie auf den nämlichen Eigenschaften der Zellhäute beruhen.
4. Beim Welken verkürzen sich wachsende Pflanzentheile sehr beträchtlich. Die einfachste Messung genügt zur Feststellung dieser Thatsache, aus welcher sich folgern lässt, dass die Zellen im wachsenden Spross durch die Wasseraufnahme des Zellinhaltes sehr stark gedehnt sind. Beim Welken verliert der Inhalt einen Theil des Wassers, den er an die verdunstenden Zellhäute abgeben muss;

dadurch wird das Volumen des Inhalts kleiner und können sich die Zellhäute vermöge ihrer Elasticität zusammenziehen. Nachträgliche Wasseraufnahme dehnt die Zellen wieder auf die frühere Länge aus.

5. Spannungen wachsender Pflanzentheile können durch das Wachsthum ausgeglichen werden. Den besten Beweis dafür liefert die Thatsache, dass Biegungen, welche wachsenden Stengeltheilen künstlich aufgenöthigt werden, fast ganz bleiben, wenn die beugende Ursache weggenommen wird, nachdem die betreffende Strecke ausgewachsen ist. Die bei der Biegung convexe Seite war künstlich gedehnt und ist durch das Wachsthum in diesem Zustande wirklich länger geworden, als die übrigen Seiten. Die nickenden Stiele vieler Blüthenknospen verdanken ihre Krümmung allein dem Gewicht ihrer Gipfelknospe; schneidet man die Knospe ab, so beobachtet man, dass wenigstens ein sehr beträchtlicher Theil der Krümmung bleibt. Hieraus ergiebt sich, dass diese Krümmung durch das Wachsthum dauernd geworden ist, und erst durch weiteres Wachsthum wieder aufgehoben werden kann.

Hält man diese Thatsachen mit der obigen Darstellung des Zustandes einer wachsenden Zelle zusammen, so wird es wenigstens sehr wahrscheinlich, dass die Dehnung der Zellhäute durch den Turgor auf das Wachsthum dieser Häute fördernd einwirken wird. Die Zellhaut der wachsenden Zelle ist stark gedehnt, das Wachsthum sucht die Dehnung auszugleichen. Sobald dieses auch nur theilweise geschehen ist, ist dadurch die Spannung der Haut geringer geworden. Diese elastische Spannung hielt aber dem Streben des Inhaltes, Wasser aufzunehmen und sich dadurch zu vergrössern, das Gleichgewicht. Die Verminderung der entgegenwirkenden Spannung der Haut muss also eine neue Wasseraufnahme des Inhaltes veranlassen, wodurch die Haut abermals gespannt wird, bis der höchste Turgor wieder erreicht ist. Dabei ist nun die Haut länger als kurz vorher, im Zustande höchster Spannung, da sie ja gewachsen ist. Die neue Dehnung der Haut verursacht auf's Neue eine Ausgleichung durch das Wachsthum, und so geht es weiter. Die Dehnung verursacht das Wachsthum, und das Wachsthum ermöglicht die weitere Dehnung.

Aus dieser von Sachs gegebenen Schilderung des Wachsthums einer Zelle sieht man, dass diejenigen Eigenschaften der wachsenden Zellen, deren Kenntniss in erster Linie für eine Theorie des Wachsthums erforderlich ist, die Dehnbarkeit und Dehnungselasticität der Zellhäute, sowie die wasseranziehende Kraft des Zellinhaltes sind. Weiter wären zu erforschen: die Grösse der im turgescenten Sprosse wirklich vorhandenen Dehnung und der Wassergehalt des Zellinhaltes; dann aber der Einfluss der Dehnung auf das Wachsthum. Bei diesen Untersuchungen kann es selbstverständlich nicht der Zweck sein, absolute Zahlen für alle diese Werthe zu erlangen;

vergleichende Beobachtungen reichen vollkommen hin. Hauptsache ist es aber, die Aenderungen zu erforschen, welche diese Eigenschaften im Laufe der Entwickelung, d. h. mit zunehmendem Alter erfahren. Nur die Kenntniss des Einflusses des Alters auf die fraglichen Eigenschaften kann zur Erklärung der merkwürdigen Thatsache führen, dass das Wachsthum einer Zelle erst zunimmt, dann ein Maximum erreicht, und später wieder abnimmt, um endlich ganz aufzuhören.

Neben den obengenannten Eigenschaften, deren Kenntniss man für die Erklärung der Erscheinungen des normalen Wachsthums braucht, sind dann für die sehr wichtigen Erscheinungen der durch das Wachsthum entstehenden Krümmungen und Torsionen Untersuchungen über die Biegsamkeit und Torsionsfähigkeit, und über die durch Beugung und Torsion in's Spiel gerufene Elasticität erwünscht. Auch bei diesen werden die Beziehungen zum Alter eine Hauptaufgabe sein.

Unter allen den hier angeregten Fragen ist die nach der Dehnbarkeit der Zellhäute ohne Zweifel die wichtigste. Es sei daher erlaubt, noch einige theoretische Beobachtungen über diese hier einzuschalten.

Die Dehnbarkeit kann an verschiedenen Stellen einer Zellhaut eine verschiedene Grösse besitzen. So lässt sich erwarten, dass in gestreckten oder cylindrischen Zellen in die Länge wachsender Pflanzentheile die Dehnbarkeit der auf der Zellachse senkrechten Theile der Haut eine andere sein wird als die der der Achse parallelen Partieen. Und zwar wird erstere im Allgemeinen eine geringere sein. Vielleicht beruht der bedeutende Unterschied zwischen dem Längenwachsthum und dem Dickenwachsthum solcher jungen Pflanzentheile hauptsächlich auf einer derartigen Verschiedenheit.

Betrachtet man die Längswände einer in die Länge wachsenden Zelle, so muss der Querschnitt der ganzen Zelle und die Dicke der Zellhaut, oder genauer die gesammte Flächenausdehnung des Querschnittes der Zellhaut einen Einfluss auf die Dehnbarkeit ausüben. Bei gleicher Beschaffenheit zweier Häute wird dem grösseren Querschnitt der einen Haut die geringere Dehnbarkeit entsprechen. Im Laufe der Entwickelung einer Zelle von ihrem Entstehen bis zur Erreichung des ausgewachsenen Zustandes ändern sich beide genannten Eigenschaften und zwar in der Regel immer in der nämlichen Richtung. Der Querschnitt der Zelle wird grösser, was bei gleich bleibender Dicke der Zellhaut schon eine Verringerung der Dehnbarkeit der Zelle verursachen würde. Dabei nimmt aber auch die Zellhaut an Dicke zu, was gleichfalls die Dehnbarkeit mit zunehmendem Alter verringern muss.

Während des Längenwachsthums erfährt die Zellhaut auch in ihrer chemischen Zusammensetzung Aenderungen, welche wohl allgemein zu einer Abnahme des Procentgehaltes an Cellulose, und Zunahme des Gehaltes an verschiedenen andern Körpern führt. Im letzten Stadium des Längenwachsthums führt diese chemische Aenderung ohne Zweifel zu einer be-

deutenden Verminderung der Dehnbarkeit; es erscheint aber als wahrscheinlich, dass ihr Einfluss in dem jüngeren Stadium ein ähnlicher ist.

Demnach würden also die Dickenzunahme der ganzen Zelle, diejenige der Zellhaut, und die chemischen Aenderungen mit zunehmendem Alter eine Abnahme der Dehnbarkeit verursachen.

In den wachsenden Zellen ist die Zellhaut durch den Turgor gedehnt. Das Maass dieser Dehnung hängt nicht nur von der Dehnbarkeit der Zellhaut, sondern auch von der dehnenden Kraft, d. h. also der Grösse der Anziehung des Zellinhaltes zum Wasser ab. Denkt man sich, dass diese Anziehung entweder fortwährend zunimmt, oder erst zunimmt und später wieder abnimmt, so kann das Maximum der Dehnung an einer andern Stelle des Sprosses als in der unmittelbaren Nähe des Vegetationspunktes liegen. Ueber die Richtigkeit der einen oder der andern Vorstellung hat der Versuch zu entscheiden.

In beiden Fällen aber ist anzunehmen, dass die Dehnung der Zellhäute an verschieden alten Stellen eines wachsenden Sprosses einen verschiedenen Werth haben wird. Dehnt man nun einen solchen, in voller Turgescenz befindlichen Spross, und misst man an vorher darauf aufgetragenen Marken die Verlängerungen der einzelnen kleinen Abtheilungen, so leuchtet ein, dass die beobachteten Ausdehnungen durch zwei Ursachen bestimmt werden. Die erste ist die Dehnbarkeit der Zellhaut, im isolirten Zustand gedacht; die zweite ist die schon vorhandene Dehnung; je grösser die letztere ist, desto geringer wird bei gleicher wirklicher Dehnbarkeit die beobachtete Ausdehnung sein. Diese Betrachtung zeigt, dass Versuche über die Dehnbarkeit turgescenter Sprosse keineswegs einen directen Schluss über die Dehnbarkeit der Zellhäute erlauben. Wäre es möglich, Sprosse in völlig turgorfreiem Zustand zu bekommen, und hätte man dabei die Sicherheit, dass die Häute zugleich faltenlos wären, so würden sich solche Gegenstände (z. B. isolirte erschlaffte Markprismen) für diese Versuche besser eignen. Doch wäre dabei zu beachten, dass die Dehnung das Volumen der von den Zellen umschlossenen Räume ändert [1]), und dass dadurch wieder eine Spannung zwischen Inhalt und Haut durch den Versuch selbst herbeigeführt werden könnte.

Eine directe Lösung der Frage nach der Dehnbarkeit wird man also nur auf mikroskopischem Wege erwarten dürfen, wo es möglich sein wird, den Turgor in den Versuchen ganz auszuschliessen. Auch die Dehnungselasticität wird nur durch solche Versuche genau studirt werden können.

Die obigen Auseinandersetzungen mögen hinreichen um zu zeigen, welche Zwecke sich die Forschung zu stellen hat, um empirische Grundlagen für eine mechanische Wachsthumstheorie zu erlangen. Neben den bedeutenden zu überwindenden Schwerigkeiten möchte ich noch einen

1) Vergl. Sachs, l. c. S. 687.

Umstand zum Schlusse hervorheben. Wie die Dehnbarkeit und Dehnungs-elasticität nicht eher hinreichend bekannt sein werden, bevor man die einzelnen Zellen und isolirten Zellhäute, oder doch kleinere, vom Turgor befreite Zellhautpartieen der mikroskopischen Forschung unterziehen kann, so wird auch die endgültige Entscheidung anderer einschlägigen Fragen nur auf diesem Wege gefunden werden können. Die Theorie des Wachsthums der Zelle fordert mikroskopische Untersuchungen an einzelnen Zellen und isolirten Zellentheilen. Bevor man aber zu diesen schreitet, soll man sich makroskopisch über die einschlägigen Erscheinungen so genau wie möglich orientiren, um dadurch eine genaue Fragestellung für die mikroskopische Forschung zu erhalten. Nur bei einer hinreichenden vorläufigen Kenntniss derjenigen Erscheinungen, welche dem unbewaffneten Auge sichtbar gemacht werden können, darf man von der mikroskopischen Forschung wesentliche Resultate erwarten.

Um in dieser Richtung wenigstens einen Schritt weiter zu machen, und dadurch eine klarere Einsicht in die zu lösenden Fragen zu bekommen, habe ich vorläufig versucht, auf experimentellem Weg einige einfache einschlagende Fragen zu beantworten. Sie beziehen sich alle auf die Aenderungen, welche die Eigenschaften eines wachsenden Sprosses während des Wachsthums erleiden, und zwar suchte ich speciell die Lage des Maximums dieser Eigenschaften in Beziehung zu der Curve der Partialzuwachse der Sprosse auf. Die untersuchten Eigenschaften sind die Dehnbarkeit, die Biegsamkeit und die Torsionsfähigkeit; diese wurden deshalb zusammen vorgenommen, weil von ihnen ein ähnliches Verhalten im Voraus zu erwarten war. Dabei wurde zugleich die der Dehnung, der Beugung und der Torsion entgegenwirkende Elasticität beobachtet. Dann aber wurden Versuche gemacht zur Beantwortung der oben angeregten Frage, an welcher Stelle des Sprosses die Zellhäute durch den Turgor am stärksten gedehnt sind. Die Beantwortung dieser Frage erschien mir in mehr als einer Hinsicht wünschenswerth, da sie nicht nur zur Beurtheilung der Resultate der übrigen nothwendig ist, sondern zumal auch eine wichtige Stütze abgeben soll für die oben auseinandergesetzte Sachs'sche Ansicht, dass die Dehnung der Zellhäute eine bedeutende Rolle beim Wachsthum spielt. Die Methode ihrer Lösung war die Messung der Partialzusammenziehungen wachsender Sprosse während des Welkens.

Zusammenziehung beim Welken.

Bei Versuchen über die Dehnbarkeit wachsender Sprosse ist nach den obigen Erörterungen in erster Linie die Thatsache zu berücksichtigen, dass die den Versuchen unterworfenen Sprosse nicht im ungedehnten Zustand zur Verwendung kommen, sondern dass ihre Zellhäute durch den Turgor gespannt sind, und dass diese Dehnung wahrscheinlich an verschiedenen

Stellen eine verschieden grosse ist. Die Aufhebung des Turgors durch Wasserverlust wird den elastisch gedehnten Zellhäuten die Gelegenheit geben, sich auf diejenige Länge zusammenzuziehen, welche dem spannungslosen Zustand entspricht. Die dabei eintretende Verkürzung kann als Maass der im turgescenten Zustande vorhandenen Dehnung benutzt werden.

Eine annähernde Vorstellung von dieser Dehnung kann man dadurch erlangen, dass man den Turgor durch Verdunstung aufhören lässt und die Zusammenziehung der einzelnen Abtheilungen des Sprosses während der Verdunstung, also beim Welken, beobachtet. Diese Methode liefert zwar, aus unten ausführlich zu besprechenden Gründen, nur annähernde Resultate, sie scheint aber die einzige zu sein, welche auf makroskopischem Wege zum Ziele führt.

Es handelt sich zunächst darum, die Vertheilung der Verkürzung beim Welken in wachsenden Sprossen kennen zu lernen, und sie mit dem Wachsthumszustand des Sprosses zu vergleichen. Da aber während des Welkens kein oder nur ein unbedeutendes Wachsthum stattfindet, muss der Wachsthumszustand während des Welkens aus demjenigen kurze Zeit vor und demjenigen kurze Zeit nach dem Welken abgeleitet werden. Sowohl um diese Zuwachse, als auch um die Zusammenziehung in ihrer Vertheilung über den Spross kennen zu lernen, ist es nothwendig, diesen mittelst Marken in einzelne kurze gleichlange Abtheilungen einzutheilen und die Längenveränderung dieser zu messen. Die nach dieser Methode für das Wachsthum erhaltenen Zahlen sind die Partialzuwachse [1]), sie werden bekanntlich in Stengeln von mittlerem Alter von der Gipfelknospe aus erst grösser, erreichen ein Maximum und nehmen dann wieder ab. Die nach der nämlichen Methode für das Welken erhaltenen Zahlen könnte man Partialzusammenziehungen nennen. Nach dieser Auseinandersetzung lässt sich nun die zu beantwortende Frage specieller in folgender Weise fassen: Fällt das Maximum der Partialzusammenziehung mit dem Maximum der Partialzuwachse zusammen, oder liegt es in jüngeren oder in älteren Theilen des Sprosses?

Unter den Bedingungen, denen die experimentelle Lösung dieser Frage zu genügen hat, muss zuerst die Benutzung von Sprossen geeignetem Alter und mit geeignetem Wachsthum hervorgehoben werden. Je länger die wachsende Strecke ist, desto genauer wird die Vergleichung der Lage beider Maxima sein können. Die Lage des Maximums der Partialzuwachse auf der wachsenden Strecke ist bei verschiedenen Arten eine sehr verschiedene. Arten mit einer grösseren Entfernung dieser Stelle von der Gipfelknospe werden zumal dazu geeignet sein, zu entscheiden, ob das Maximum der Verkürzung beim Welken irgendwo auf der aufsteigenden Seite der Curve der Partialzuwachse liegt, oder ob es mit dem Maximum

1) Sachs, Arb. d. Würzb. Bot. Inst. Heft III. p. 419; Flora 1873. p. 323.

dieser zusammenfällt. Bei der Wahl der Arten sind also diese beiden Eigenschaften in Betracht zu ziehen. Auch sind ältere Zweige, deren Längenwachsthum nahezu beendet ist, auszuschliessen, da bei ihnen das Maximum der Partialzuwachse zu nahe bei der Gipfelknospe liegt.

Soll die Verkürzung beim Welken in den einzelnen Abschnitten nicht vorherrschend von äusseren, die Geschwindigkeit der Verdunstung beeinflussenden Umständen bestimmt werden, so ist es nothwendig, dass deren Einwirkung auf die verschiedenen Theile des Sprosses eine möglichst gleichmässige sei. Die Temperatur und der Feuchtigkeitsgrad der Luft kommen hierbei kaum in Betracht, da sie wohl immer für sämmtliche Querschnitte eines Sprosses dieselben sind. Einen bedeutenden Einfluss dagegen haben die Dicke des Sprosses und die Beschaffenheit der Epidermis. Die meisten Sprosse sind nach ihrem Gipfel zu verjüngt, an dem Gipfel ist also die Verdunstungsfläche in Beziehung zum Volumen grösser, oft viel grösser als in den älteren noch wachsenden Theilen. Die Zahl der Stomata auf den Quadratmillimeter berechnet ist selbstverständlich in der jungen Epidermis grösser als in der ausgewachsenen. Auch ist in den jüngeren Theilen die Epidermis weniger vollständig cuticularisirt und zarter als in älteren. Diese Ursachen führen eine raschere Verdunstung in den jüngeren Theilen herbei, welche dort eine stärkere Zusammenziehung verursachen kann. Bei sehr stark conischen Sprossen kann sogar der Unterschied in der Verdunstung so gross werden, dass die jüngsten dünnsten Theile durch den Wasserverlust sterben, ehe die älteren noch wachsenden das Minimum ihrer Verkürzung auch nur annähernd erreicht haben. Arten, deren Sprosse diese Unterschiede in der Beschaffenheit der Epidermis und zumal in der Dicke in geringem Maasse besitzen, sind also für diese Versuche den übrigen vorzuziehen.

Der Wasserverlust der einzelnen Abschnitte beim Welken wird nicht allein durch die Verdunstung bestimmt, sondern auch durch die Bewegung des Wassers innerhalb des welkenden Pflanzentheils. Erstens werden die am raschsten das Wasser verlierenden Theile aus den benachbarten, weniger rasch verdunstenden Strecken das Wasser an sich ziehen. Diese Ursache wird offenbar dahin zielen, den Einfluss der ungleichen Verdunstung der einzelnen Abtheilungen auf die Zusammenziehung zu verringern. Zweitens aber findet in wachsenden nicht vollkommen mit Wasser gesättigten Pflanzentheilen immer eine Bewegung des Wassers statt, welche im Allgemeinen das Wasser aus den älteren Theilen in die jüngeren überführt. Es ist vorläufig unbekannt, welchen Einfluss diese Ursache auf die Partialzusammenziehungen haben wird. Jedenfalls aber ist dieser Einfluss so gering, dass er bei den vorliegenden Versuchen nicht in Betracht gezogen zu werden braucht. Ich schliesse dieses daraus, dass das Maximum der Partialzusammenziehungen an der nämlichen Stelle gefunden wird, wenn man die einzelnen Abschnitte vor dem Anfang des Welkens von einander

trennt, als wenn man sie, wie dieses bei meinen Versuchen gewöhnlich der Fall war, mit einander in normaler Verbindung lässt. Ebenso habe ich mich durch directe Versuche überzeugt, dass das Abschneiden der Gipfelknospe keinen merkbaren Einfluss auf die Curve der Verkürzung hat. Bei sämmtlichen in dieser Arbeit mitgetheilten Versuchen blieb die Gipfelknospe am Sprosse, um die Wachsthumsfähigkeit des Sprosses nicht zu sehr zu beeinträchtigen. Immerhin empfiehlt es sich, bei den Versuchen die älteren, nicht mehr wachsenden Theile möglichst zu entfernen, weil diese sonst, bei ihrer geringen Transpiration, fortwährend bedeutende Quantitäten Wasser an die welkenden Theile abgeben können.

Um bei den Versuchen immer von einem bestimmten und leicht wieder herzustellenden Wassergehalt auszugehen, habe ich die Sprosse vor dem Welken stets in den Zustand des höchst möglichen Turgors gebracht. Dazu wurden sie nicht nur mit der frischen Schnittfläche in Wasser gestellt, sondern ganz untergetaucht, um jedem Wasserverlust durch Verdunstung vorzubeugen. Erst nachdem sie mehrere Stunden in diesem Zustande hingebracht hatten, wurden sie abgetrocknet, und nachdem ihr Wachsthum vor dem Welken gemessen worden war, in der Luft aufgehängt und zwar mit der Gipfelknospe nach unten.

Es erübrigt noch, Einiges über die Bestimmung des Wachsthumszustandes mitzutheilen. Bei meinen sämmtlichen Versuchen wurden die Sprosse in Abtheilungen von je 2 Cm. Länge getheilt, da man bei den betreffenden Arten dadurch eine hinreichend genaue Kenntniss der Lage des Wachsthumsmaximums erreicht. Sowohl vor als nach dem Versuche wurden die Zuwachse in möglichst kurzer Zeit, meist in 6—18 Stunden bestimmt. Als Wachsthum nach dem Welken wurde die Differenz der Länge der Abtheilungen, kurz vor dem Welken, und ihrer Länge betrachtet, nachdem sie nach dem Welken mehrere Stunden in Wasser untergetaucht gewesen waren, wobei selbstverständlich jedesmal die eingetrocknete Schnittfläche durch eine neue ersetzt worden war.

Die Messung geschah mittelst auf steifes Papier gedruckter Millimetertheilungen; die Messungsfehler können etwa 0,1 Mm. betragen. Während der Versuche wurden die Marken nicht erneuert, wodurch die Anfangslänge der einzelnen Abtheilungen beim Welken und bei der Bestimmung des Wachsthums nach dem Welken nicht genau 2 Cm. beträgt. Die Tabellen zeigen, dass man ohne beträchtlichen Fehler die direct gemessenen Zuwachse oder Verkürzungen als für gleichlange Abtheilungen geltend, betrachten darf. Die Dicke wurde mittelst einer Mikrometerschraube in der Mitte der einzelnen Abtheilungen gemessen. Die Sprosse wurden immer vor den Versuchen abgeschnitten, und falls sie Blätter oder Seitenzweige hatten, von diesen befreit; die Gipfelknospe wurde immer gelassen. Da bei vielen Arten die Sprosse nach dem Abschneiden bald zu wachsen aufhören, muss man immer vorher untersuchen, ob in diesem Zustande für

die Messung hinreichende Partialzuwachse erhalten werden; sonst sind die Arten von den Versuchen auszuschliessen. Aus demselben Grunde wurde die ganze Dauer des Versuchs, von dem Abschneiden des Sprosses bis zur letzten Messung der Zuwachse fast nie über mehr als 26—27 Stunden ausgedehnt. Es konnte also für das Welken selbst nur eine geringe Zahl von Stunden benutzt werden. Um dennoch eine bedeutende Verkürzung der einzelnen Abtheilungen zu erhalten, wählte ich ausschliesslich dünne Sprosse aus. Ferner sind lange Blüthenschäfte ohne Knoten bei Weitem den aus vielen, zumal den aus scharf abgegrenzten Internodien bestehenden Sprossen vorzuziehen, doch wurden die letzteren nicht ganz von der Untersuchung ausgeschlossen [1]).

Die zu den folgenden Versuchen benutzten Sprosse sind sämmtlich Stiele von jungen Inflorescenzen und von Blüthenknospen. Die Temperatur betrug 20—23° C. Die Zahlen der Tabellen sind Millimeter.

I. Papaver dubium.

Blüthenstiele, welche durch das Gewicht der Knospe in einer Entfernung von 2 bis 4 Cm. von der Knospe gebogen waren. Für die Eintheilung und die ersten Messungen wurden sie gerade gebogen; beim Welken verschwand die Krümmung der hangenden Lage zufolge.

Ich habe mit dieser Art, welche sich wegen ihrer dünnen, rasch wachsenden und sehr wenig conischen Blüthenstiele sehr zu dieser Untersuchung eignet, eine ziemlich grosse Reihe von Versuchen gemacht, in denen immer das Maximum der Zusammenziehung beim Welken mit dem Maximum des Wachsthums zusammenfiel. Ich wähle als Beispiel folgenden Versuch aus.

No. der 2 Cm. langen Abtheilungen.	Dicke.	Zuwachse vor dem Welken. (7 Stund.)	Zuwachse nach dem Welken. (15 Stund.)	Verkürzung beim Welken in 1 St. 40 Min.	Verkürzung beim Welken in 2 St. 30 Min.
I oben	1.6	1.0	1.3	1.7	2.0
II	1.6	2.0	1.2	2.1	2.2
III	1.7	4.5	2.7	3.2	3.8
IV	1.7	2.5	0.0	1.0	1.2
V	1.7	0.3	0.0	0.3	0.3

1) Ueber die Curve der Partialzuwachse der aus scharf getrennten Internodien bestehenden Sprosse, vergl. Sachs, Flora. 1873. S. 323.

II. Thrincia hispida.

Nickende Blüthenstiele, meist gegen die Inflorescenzknospe ziemlich stark verjüngt, und dort mit anscheinend weniger cuticularisirter Epidermis. Diesen Eigenschaften zufolge ist anfangs die Verdunstung in den jüngsten Theilen bedeutend stärker als in den älteren. Dieses beeinflusst die Curve der Zusammenziehung beim Welken stark, wie folgende, aus einer grösseren Reihe ausgewählte Versuche zeigen. In den beiden letzten Tabellen fehlt zwar die Angabe der Partialzuwachse, doch zeigt die Vergleichung dieser Sprosse mit denjenigen, deren Wachsthum gemessen wurde, dass auch in diesen, während des Versuchs, das Wachsthumsmaximum die jüngste, 2 Cm. lange Abtheilung nicht erreicht hatte.

II α. Thrincia hispida.

No. der 2 Cm. langen Abtheilungen.	Dicke.	Wachsthum vor dem Welken.	nach dem Welken.	Verkürzung beim Welken während	
		(5 Stund.)	(13 Stund.)	$2^1/_2$ St.	$4^1/_2$ St.
I oben	1.3	1.0	0.1	1.0	1.2
II	1.5	1.6	0.3	1.0	1.4
III	1.7	1.5	0.2	1.0	1.4
IV	1.8	1.7	0.0	1.0	1.0
V	1.8	0.4	0.0	0.1	0.3
VI	1.8	0.2	0.0	0.1	0.4

II β. Thrincia hispida.

No. der 2 Cm. langen Abtheilungen.	Dicke.	Wachsthum während 6 St. nach dem Welken.	Verkürzung beim Welken während	
			1 St.	3 St.
I oben	1.1	0.8	1.7	1.9
II	1.1	1.7	0.7	1.3
III	1.1	1.0	0.2	0.9
IV	1.1	0.1	0.2	0.7
V	1.2	0.0	0.2	0.3
VI	1.2	0.0	0.0	0.1

II γ. Thrincia hispida.

No. der 2 Cm. langen Abtheilungen.	Dicke.	Verkürzung beim Welken während	
		1 St.	15 Stund.
I oben	1.6	1.1	1.5
II	1.8	0.8	1.9
III	2.1	0.2	1.6
IV	2.2	0.0	1.1
V	2.2	0.0	0.6
VI	2.3	0.0	0.3

II δ. Thrincia hispida.

No. der 2 Cm. langen Abtheilungen.	Dicke.	Verkürzung beim Welken während	
		1 St.	16 St.
I	1.8	0.8	1.0
II	2.1	0.4	0.9
III	2.3	0.3	1.2
IV	2.4	0.7	1.5
V	2.5	0.6	0.6
VI	2.5	0.4	0.8

Construirt man nach diesen Tabellen Curven für die Partialzusammenziehungen beim Welken, so zeigt sich, dass diese Curven sehr verschiedene Formen besitzen. Erstens eine mit der nämlichen Curve bei Papaver übereinstimmende Form, welche ein Maximum in einer gewissen Entfernung von der Gipfelknospe zeigt, welches in der Tabelle II α annähernd mit dem Wachsthumsmaximum zusammenfällt. Die zweite Form liefern die in der fünften Spalte der 1. Tabelle enthaltenden Zahlen; die Curve ist sehr flach und fällt hinter dem Maximum der Partialzuwachse ziemlich rasch. Die Curven der dritten Form besitzen ihr Maximum in der Nähe der Spitze des Sprosses und zeigen bisweilen (II δ Spalte 3) ein secundäres Maximum in einiger Entfernung der Endknospe.

Ferner zeigen meine Versuche, wie auch in den mitgetheilten Tabellen ersichtlich ist, dass die Curven der dritten Form bei längerer Dauer des Versuchs flacher werden (II β) und noch später in die der ersten Form übergeführt werden (II γ). Wo sie ein secundäres Maximum besitzen, liegt dieses in der Regel an der Stelle des Maximums der später entstehenden Curve der ersten Form. Auch die flachen Curven verändern sich auf die Dauer in die Curven der ersten Form (II α).

Es leuchtet ein, dass die anfangs raschere Verdunstung des Wassers in der jüngsten Strecke die Ursache davon ist, dass in dieser anfangs die Zusammenziehung rascher vor sich geht als in den älteren Theilen. Dadurch wird aber der Wassergehalt sehr vermindert, und da der Verlust durch die Bewegung des Wassers aus den älteren Theilen nicht hinreichend ersetzt wird, so wird diese Ursache allmählig aufhören. Diese Betrachtung erklärt die von der zuerst genannten Curve abweichenden Formen und wird durch ihren Uebergang in die erste Curvenform bei längerer Versuchsdauer bewiesen.

Eine von diesen Ursachen unabhängige oder wenigstens fast unabhängige Curve bekommt man also erst bei hinreichend langer Dauer der Versuche. Die mit Rücksicht hierauf erhaltenen Curven zeigen aber ihr

Maximum immer in einer gewissen Entfernung von der Endknospe und zwar mit dem Wachsthumsmaximum zusammenfallend.

Benutzt man Sprosse, deren Verjüngung an der Spitze bedeutend stärker ist, als in den hier ausgewählten, so kann der Fall eintreten, dass die dünnsten Theile zu stark austrocknen und sterben, ehe die Verwelkungscurve die normale Form bekommen hat. Mit solchen Sprossen ist es also nicht möglich auf diese Weise die vorliegende Frage zu entscheiden.

Diese Resultate wurden durch die Versuche mit anderen Arten vielfach bestätigt; für diese möge es jedoch genügen, die bei hinreichend langer Dauer des Welkens erhaltenen Zahlen, und zwar nur in je einem Versuche mitzutheilen und am Schluss ein paar Versuche nachzutragen, in denen die erhaltene Curve in auffälliger Weise von der conischen Form des Sprosses beeinflusst worden ist.

III. Froelichia floridana.

No. der 2 Cm. langen Abtheilungen.	Dicke.	Wachsthum vor dem Welken in 6 Stund.	Verkürzung beim Welken während 4 St. 30 Min.
I oben	1.6	0.0	1.5
II	1.6	0.2	1.3
III	1.7	0.8	2.0
IV	1.8	1.0	2 2
V	2.1	1.0	2.0
VI	2.2	0.8	1.2
VII	2.3	0.3	0.9
VIII	2.3	0.1	0.4

IV. Garidella Nigellastrum.

No. der 2 Cm. langen Abtheilungen.	Dicke.	Wachsthum vor dem Welken in $7^1/_2$ Stund.	Verkürzung beim Welken in 2 Stund.
I oben	0.8	2.2	2.2
II	0.9	2.8	3.0
III	1.2	2.0	2.5
IV	1.3	1.8	2.1
V	1.3	0.6	0.8
VI	1.3	0.0	0.0

V. Saponaria officinalis.

Hauptstiel einer jungen Inflorescenz; die wachsende Strecke besteht aus drei Internodien.

No. der 2 Cm. langen Abtheilungen.	Dicke.	Wachsthum vor dem Welken in 7 St.	Verkürzung beim Welken in 4 St.
I oben	2.1	0.5	2.5
II	2.4	1.1	2.3
III	2.4	1.4	3.7
IV	2.7	0.9	3.4
V	2.8	0.4	1.2
VI	2.8	0.1	0.1
VII	2.9	0.0	0.0

Die Messung des Wachsthums nach dem Welken zeigt in diesem und in dem vorigen Versuche, dass alle vor dem Welken in Wachsthum begriffenen Abtheilungen, mit Ausnahme der ältesten, auch nachher noch gewachsen waren.

VI. Helenium mexicanum.

Blüthenstiel, gegen die Inflorescenz conisch dicker werdend.

No. der 2 Cm. langen Abtheilungen.	Dicke.	Wachsthum vor dem Welken. (7 Stund.)	Wachsthum nach dem Welken. (15 Stund.)	Verkürzung beim Welken in 2 Stund.
I oben	1.9	1.5	0.7	1.5
II	1.7	1.7	1.3	2.2
III	1.7	0.8	0.3	0.9
IV	1.6	0.0	0.1	0.0
V	1.6	0.0	0.0	0.0

VII. Allium microcephalum.

Bei sehr conischer Form und grosser Entfernung des Wachsthumsmaximums von der Inflorescenzknospe liegt das Maximum der Verkürzung beim Welken in folgendem Versuche selbst nach 18 Stunden noch zwischen beiden genannten Stellen.

No. der 2 Cm. langen Abtheilungen.	Dicke.	Wachsthum vor dem Welken. (7 Stund.)	Wachsthum nach dem Welken. (7 Stund.)	Verkürzung beim Welken während 18 Stund.
I oben	1.6	0.3	0.1	0.3
II	1.9	0.8	0.3	0.8
III	2.2	0.9	0.5	0.0
IV	2.4	1.0	0.7	0.2
V	2.7	1.1	0.7	0.2
VI	2.9	0.9	0.6	0.1
VII	2.9	1.0	0.3	0.2
VIII	3.0	0.6	0.1	0.2
IX	3.1	0.4	0.1	0.2
X	3.2	0.0	0.1	0.0

VIII. Sanguisorba officinalis.

Die bedeutende Verjüngung an der Spitze verursacht in folgendem Versuche dort ein starkes Maximum der Verkürzung, während das mit dem Wachsthumsmaximum zusammenfallende viel weniger ausgeprägt ist.

No. der 2 Cm. langen Abtheilungen.	Dicke.	Wachsthum vor dem Welken. (7 Stund.)	Wachsthum nach dem Welken. (15 Stund.)	Verkürzung beim Welken während 3 Stund.
I oben	1.9	0.9	0.3	1.0
II	2.4	1.1	0.8	0.9
III	2.5	1.0	1.1	0.1
IV	2.5	1.3	1.5	0.2
V	2.6	1.7	1.5	0.5
VI	2.8	1.0	0.9	0.1
VII	2.9	0.1	0.6	0.1
VIII	2.9	0.0	0.4	0.1

Die Versuche zeigen übereinstimmend, dass bei hinreichend langer Versuchsdauer die am raschesten wachsende Stelle auch diejenige ist, welche beim Welken die stärkste Zusammenziehung erfährt. Hieraus folgt, dass die Stelle der grössten durch den Turgor verursachten Dehnung der Zellhäute wenigstens annähernd mit der Stelle des raschesten Wachsthums zusammenfällt.

Dehnbarkeit.

Um die Verlängerung bei der Dehnung zu bestimmen, wurden die in Abtheilungen von je 2 Cm. mittelst Tuschstriche getheilten Sprosse horizontal auf eine Korkplatte gelegt, die Endknospe mit einer kleinen Korkplatte bedeckt, und dann diese letztere mittelst einer Klemmschraube gegen die erstere Platte angedrückt. Die Knospe konnte durch diese Einrichtung so stark festgeklemmt werden, dass sie auch von den grössten zu benutzenden Kräften nicht losgerissen wurde; bei immer stärkerem Zug am älteren Ende des Sprosses zerriss eher dieser in seinem dünnsten, der Knospe am nächsten liegenden, aber freien Theil, als dass die Knospe zwischen den Korkplatten verrückt worden wäre. Am älteren Ende des Sprosses wurde einfach ein Bindfaden mit einer Schlinge befestigt; dieser wurde angezogen und, sobald die gewünschte Dehnung erreicht war, mit einer Nadel auf der Korkplatte festgesteckt. Die Messung der Entfernung der Tuschstriche vor und nach der Dehnung geschah durch Anlegen einer auf dickem Papier gedruckten Mm.-Eintheilung.

Um möglichst grosse Verlängerungen zu bekommen, wurden auch hier dünne Sprosse benutzt, und ferner die Dehnung so stark wie möglich vorgenommen, ohne dass die Sprosse zerrissen. Immer wurde der Spross langsam bis auf die gewünschte Länge gedehnt, dann aber nur so lange in diesem Zustande gelassen, als grade zur Messung nothwendig war. Diese Vorsicht ist deshalb nöthig, weil durch die Dehnung die Sprosse eine bedeutende Erhöhung ihrer Dehnbarkeit erfahren, und es nicht bekannt ist, ob vielleicht diese Erhöhung in den verschiedenen Abtheilungen in verschiedenem Maasse stattfindet. Nach jeder Dehnung wurde der Spross einige Zeit sich selbst überlassen und wieder gemessen. Dabei zeigte sich im Allgemeinen, dass er sich verkürzte, aber die ursprüngliche Länge nicht genau wieder annahm; es war eine bleibende Verlängerung durch die Dehnung eingetreten. Die ganze Verlängerung bei der Dehnung muss also als aus zwei Theilen bestehend betrachtet werden; der eine Theil, der sofort nach dem Aufhören des Zugs ausgeglichen wird, kann mit dem Namen »elastischer Theil« angedeutet werden; der andere ist der bleibende oder permanente Theil. Verglichen mit den übrigen Messungen giebt also die Messung des nach der Dehnung kurze Zeit sich selbst überlassenen Sprosses diese beiden Werthe; sie finden sich in den nachfolgenden Tabellen neben der totalen Verlängerung verzeichnet. Ich lege aber diesen Zahlen keinen grossen Werth bei. Eine Reihe von Beobachtungen hat nämlich dargethan, dass, wie zu erwarten war, die elastische Zusammenziehung des Sprosses nach der Dehnung im ersten Augenblick sehr rasch und bedeutend ist, dann zwar rasch abnimmt, aber nicht plötzlich, sondern sehr allmählig aufhört. Obgleich diese letzte, allmählige Verkürzung in kurzer Zeit fast unmerklich ist, dauert sie doch so lange, dass sie im Ganzen

nicht vernachlässigt werden darf. Meine Messungen geben nun nur die anfängliche, nicht auch diese nachträgliche Zusammenziehung. Diese zu bestimmen erlaubte die oben erörterte Nothwendigkeit einer kurzen Versuchsdauer nicht.

Aus demselben Grunde ist eine Bestimmung der Wachsthumscurve nach der Dehnung nicht möglich, die beobachtete nachherige Verlängerung ist dem wirklichen Wachsthum, nach Abzug des Werthes dieser nachträglichen Zusammenziehung gleich. Die in der betreffenden Spalte in den Tabellen angeführten Zahlen sollen nur beweisen, dass noch Wachsthum stattfand, d. h. dass die Sprosse während der Dehnung nicht ausgewachsen waren. Eine annähernde Kenntniss der Wachsthumscurve nach der Dehnung bekommt man durch Vergleichung der Summe des beobachteten Wachsthums und der bleibenden Verlängerung, mit dem beobachteten Wachsthum selbst; es ist aber zu beachten, dass diese Wachsthumscurve höchst wahrscheinlich von der Dehnung beeinflusst worden ist.

Das Resultat von sämmtlichen, von mir über die vorliegende Frage angestellten Versuchen ist, dass die Stelle der grössten totalen Dehnbarkeit immer in der unmittelbaren Nähe der Gipfelknospe lag, obgleich das Wachsthumsmaximum immer in einiger Entfernung von dieser beobachtet wurde, und obgleich in den Versuchsobjecten diese Stelle immer nur sehr wenig dünner, in einigen sogar dicker war, als die nächst älteren Theile. Dass dieses Resultat nicht nur für die einzelnen 2 Cm. langen Abtheilungen gilt, sondern dass auch innerhalb der jüngsten Abtheilung die Dehnbarkeit nach der Gipfelknospe zu stetig zunimmt, davon habe ich mich mittelst innerhalb dieser Abtheilung angebrachter Marken bei mehreren Arten überzeugt. Man darf also sagen, dass unabhängig von dem Verlauf der Wachsthumscurve und unabhängig von der Verlängerung des Sprosses gegen den Gipfel, die Dehnbarkeit von der Gipfelknospe aus nach den älteren Theilen stetig, und zwar anfangs ziemlich rasch, abnimmt.

Als Erläuterung zu diesem Satze theile ich hier die beobachteten Zahlen für einige Arten mit; ich wähle dazu für jede Art aus mehreren nur einen Versuch aus. Bei diesen Versuchen blieben die Sprosse vor der Dehnung immer längere Zeit in Wasser, um bei gänzlich ausgeschlossener Verdunstung den höchst möglichen Grad von Turgor zu erreichen. Dieses geschah zumal deshalb, weil durch die Verdunstung die Dehnbarkeit der einzelnen Abtheilungen in sehr verschiedenem Maasse zunimmt. Diese Thatsache wurde durch einige Vorversuche festgestellt; sie findet ihre einfache Erklärung durch den in der ersten Abtheilung bewiesenen Satz, dass die Zellen im turgescenten Sprosse verschieden stark gedehnt sind. Nimmt diese Dehnung der Zellhäute durch den Wasserverlust der Zellen ab, so nimmt selbstverständlich die Dehnbarkeit der Zellen zu; die am stärksten gedehnten Zellen werden also bei der Verdunstung (unter gewissen äusseren Bedingungen) am meisten an Dehnbarkeit gewinnen. Nach den oben

mitgetheilten Versuchen ist es also die Stelle des raschesten Längenwachsthums, in der der Wasserverlust durch Verdunstung die stärkste Aenderung der Dehnbarkeit verursachen wird.

Das Wachsthum nach der Dehnung wird durch Subtraction der Länge kurz nach der Dehnung von der nachher in der in den Tabellen angegebenen Stundenzahl erreichten Länge berechnet. Die Bedeutung dieser Zahlen wurde oben besprochen. Die benutzten Theile sind Blüthenschäfte, die Temperatur war 20—23° C. In den übrigen Hinsichten waren die Versuche und die Messungen ganz ähnlich eingerichtet, wie die über die Verkürzung beim Welken.

I. Plantago lanceolata.

No. der 2 Cm. langen Abtheilungen.	Dicke.	Wachsthum vor der Dehnung. (24 St.)	Wachsthum nach der Dehnung. (24 St.)	Totale Dehnung.	Bleibende Verlängerung.	Elastische Dehnung.
I oben	1.0	1.3	0.7	3.5	0.7	2.8
II	1.1	1.5	1.9	0.8	0.5	0.3
III	1.1	2.2	0.0	0.7	0.5	0.2
IV	1.1	0.9	0.0	0.5	0.1	0.4
V	1.2	0.1	0.0	0.1	0.0	0.1

II. Froelichia floridana.

No. der 2 Cm. langen Abtheilungen.	Dicke.	Wachsthum vor der Dehnung. (6 St.)	Wachsthum nach der Dehnung. (17 St.)	Totale Dehnung.	Bleibende Verlängerung.	Elastische Dehnung.
I oben	1.4	0.1	0.8	3.1	0.8	2.3
II	1.4	0.5	0.0	1.2	0.6	0.6
III	1.8	0.6	0.4	0.5	0.2	0.3
IV	1.9	1.1	0.9	0.4	0.2	0.2
V	2.0	2.5	1.1	0.1	0.0	0.1
VI	2.2	0.3	0.2	0.6	0.4	0.2
VII	2.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0

III. Thrincia hispida.

No. der 2 Cm. langen Abtheilungen.	Dicke.	Wachsthum vor der Dehnung. (6 St.)	Wachsthum nach der Dehnung. (17 St.)	Totale Dehnung.	Bleibende Verlängerung.	Elastische Dehnung.
I oben	1.3	0.5	0.7	2.8	1.1	1.7
II	1.4	1.3	0.8	1.4	0.7	0.7
III	1.5	2.0	1.5	0.4	0.3	0.1
IV	1.6	1.4	0.4	0.4	0.3	0.1
V	1.6	0.7	0.0	0.2	0.0	0.2
VI	1.7	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0

IV. Allium microcephalum.

No. der 2 Cm. langen Abtheilungen.	Dicke.	Wachsthum vor nach der Dehnung.		Totale Dehnung.	Bleibende Verlängerung.	Elastische Dehnung.
		(7 St.)	(18 St.)			
I oben	1.6	0.1	0.0	2.9	1.8	1.1
II	1.7	0.7	0.2	1.8	0.9	0.9
III	1.8	0.9	0.4	1.6	1.0	0.6
IV	2.0	0.6	1.7	0.9	0.6	0.3
V	2.3	0.7	1.7	0.6	0.3	0.3
VI	2.5	1.0	2.1	0.3	0.3	0.0
VII	2.6	1.2	1.7	0.6	0.3	0.3
VIII	2.8	1.0	2.0	0.3	0.1	0.2
IX	2.9	0.8	0.8	0.3	0.2	0.1
X	3.0	0.5	0.4	0.2	0.0	0.2

V. Helenium mexicanum.

No. der 2 Cm. langen Abtheilungen.	Dicke.	Wachsthum vor nach der Dehnung.		Totale Dehnung.	Bleibende Verlängerung.	Elastische Dehnung.
		(7 St.)	(17 St.)			
I oben	1.8	1.2	0.7	2.8	1.0	1.8
II	1.6	2.0	1.1	1.8	1.0	0.8
III	1.6	1.0	0.2	1.2	0.7	0.5
IV	1.6	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0
V	1.6	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0

VI. Valeriana officinalis.

No. der 2 Cm. langen Abtheilungen.	Dicke.	Wachsthum vor nach der Dehnung.		Totale Dehnung.	Bleibende Verlängerung.	Elastische Dehnung.
		(7 St.)	(17 St.)			
I oben	1.7	0.2	0.5	2.6	1.7	0.9
II	2.1	0.9	0.4	0.5	0.3	0.2
III	2.2	1.5	1.0	0.0	0.0	0.0
IV	2.3	1.4	0.0	0.5	0.4	0.1
V	2.4	0.6	0.1	0.8	0.5	0.3
VI	2.4	0.1	0.2	0.0	0.0	0.0

Die Unregelmässigkeit der Curven wurde durch die Knoten verursacht.

VII. Alisma Plantago.

No. der 2 Cm. langen Abtheilungen.	Dicke.	Wachsthum vor der Dehnung. (7 St.)	Wachsthum nach der Dehnung. (18 St.)	Totale Dehnung.	Bleibende Verlängerung.	Elastische Dehnung.
I oben	2.3	1.2	1.8	1.8	1.0	0.8
II	3.5	3.0	2.8	0.8	0.7	0.1
III	3.5	3.2	3.1	0.5	0.4	0.1
IV	4.9	1.0	0.6	0.3	0.0	0.3
V	4.9	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0

Biegsamkeit.

Meine Versuche wurden nach der folgenden Methode gemacht: Auf eine dünne, mit weissem Papier überzogene Korkplatte wird der gerade Spross auf eine vorher mit Bleistift gezogene grade Linie gelegt. Die Schnittfläche wird mit feuchtem Tuch umgeben, damit der Wasserverlust durch Verdunstung während des im Mittel 20 Minuten dauernden Versuches ganz ausser Betracht gelassen werden könne. Der Spross trägt, von der Gipfelknospe aus in Entfernungen von je 1 Cm. Tuschstriche. Das Wachsthum wird nur für Abtheilungen von je 2 Cm. Länge bestimmt; die Biegsamkeit wird in der Mitte dieser Abtheilungen untersucht. Dazu wird der Spross an den in der Mitte dieser je 2 Cm. langen Abtheilungen gelegenen Marken durch Nadeln an den Kork befestigt, und zwar so, dass eine Nadel auf der einen Seite des Sprosses, die andere auf der andern Seite steht, und beide zusammen den Spross möglichst fest an den Kork andrücken, aber ohne ihn zu verletzen. Indem in der Mitte jeder Abtheilung eine solche Befestigung hergerichtet wird, liegt der ganze Spross hinreichend fest, um auch bei der Biegung des freien Endstückes seine gerade Lage zu behalten.

Jetzt wird die Korkplatte auf einem Halter senkrecht gestellt, und zwar so, dass der Spross dabei horizontal bleibt. Ein feiner Faden wird genau an der Stelle des ersten, der Gipfelknospe am nächsten liegenden Tuschstriches um den Spross geschlagen und mit einem Gewichte beschwert. Hierdurch biegt sich der Spross an der durch die Nadeln befestigten Stelle der zweiten Marke, also in der Mitte der ersten 2 Cm. langen Abtheilung. Die Richtung des herabgebogenen Endes wird mit Bleistift auf das Papier angegeben, das Gewicht entfernt und die durch die bleibende Biegung verursachte Lage ebenso auf das Papier aufgetragen. In der nämlichen Weise wird auch für die übrigen Abtheilungen die Biegsamkeit bestimmt. Die Belastungen und Entlastungen geschehen so langsam wie möglich; jeder Stoss muss vermieden werden.

Nachdem dieses geschehen und der Spross vom Papier entfernt ist, werden die punktirten Linien ausgezogen und verlängert und die Winkel, welche sie mit der ursprünglichen Lage des Sprosses machen, gemessen. Zum letzteren Zweck eignet sich am besten eine auf eine Glimmerplatte eingeritzte Grad-Eintheilung. Die in den Tabellen verzeichneten Winkel liefern also ein Bild von der Senkung der Sprosstheile bei gleicher Belastung und gestatten dadurch ein Urtheil über die Biegsamkeit in den einzelnen Abtheilungen.

Während des Versuchs wurde die Endknospe nicht abgeschnitten. Sie verursacht eine desto grössere Senkung, je länger der Hebelarm ist, an dem sie wirkt, je weiter also die untersuchte Stelle von der Gipfelknospe entfernt ist. Ebenso werden von der Knospe aus bis zu der Stelle des Maximums der Partialzuwachse die Hebelarme um ein Geringes länger, da ja die Marken während der Wachsthumsbestimmung vor Anfang des Versuchs auseinandergerückt sind und sie nicht erneuert wurden. Beide Fehler vergrössern den beobachteten Winkel in der Nähe des Wachsthumsmaximums; da aber das Resultat der Versuche dennoch ein stetiges Abnehmen der Biegsamkeit vom Gipfel aus ist, so brauchen sie bei der Schlussfolgerung nicht in Betracht zu kommen

Um die Reibung der Endknospe an dem Papier zu beseitigen, empfiehlt es sich, die Korkplatte ein wenig über zu neigen, dieses schadet der Genauigkeit nicht, da man ohnehin die Fehler nicht kleiner als 5 Grad machen kann.

Für die Kenntniss der verschiedenen mit dem Wachsthum zusammenhangenden Biegungen ist es von Werth die Stelle zu kennen, wo ein Spross sich am stärksten krümmt, wenn er durch eine an der Knospe angreifende Kraft gebogen wird, während der untere Theil befestigt ist [1]. Ich habe deshalb bei jedem Versuch sofort nach der Biegung nach obiger Methode auch diese Frage untersucht, und zwar wurde der Spross in der Ebene der beschriebenen Biegungen, einmal in der Richtung dieser und dann in der entgegengesetzten gebogen. In beiden Lagen wurde die Krümmung auf das Papier verzeichnet und dann die Lage der am stärksten gekrümmten Stelle, nebst dem Radius ihrer Krümmung bestimmt. Die Biegungen in den beiden entgegengesetzten Richtungen ergaben immer ungefähr dieselbe Entfernung der stärkst gekrümmten Strecke von der Gipfelknospe. Diese Strecke ist nicht als der Ort der stärksten absoluten Biegsamkeit zu betrachten, was sich u. A. auch daraus ergiebt, dass sie, wie schon von Sachs gefunden wurde, immer an einer von der Knospe ziemlich weit entfernten Stelle liegt, während, wenn man die Knospe festhält und das ältere Ende des abgeschnittenen Sprossgipfels zieht, immer der der Gipfelknospe am nächsten liegende Theil die stärkste Krümmung zeigt.

1) Vergl. Sachs, Lehrb., 3. Aufl. S. 691.

Als Resultat aus meinen Versuchen ergab sich, dass, obgleich das Maximum der Partialzuwachse in den Versuchsobjecten den Gipfel noch nicht erreicht hatte, und die Dicke entweder nicht oder nur sehr allmählig von der Spitze aus zunahm, das Maximum der Biegsamkeit stets in der unmittelbaren Nähe der Spitze liegt. Die Stelle, in der sich die Sprosse beim Ziehen an der Endknospe biegen, lag, wie erwähnt, immer in einer gewissen Entfernung von der Spitze, ohne eine bestimmte Beziehung zur Lage des Maximums der Partialzuwachse erkennen zu lassen.

Ich führe jetzt beispielsweise einige, aus einer grösseren Versuchsreihe ausgewählte Versuche an; die dazu benutzten Sprosse sind Blüthenschäfte; die Temperatur war 18—23° C. Im Uebrigen ist für die Beschreibung der Messung und der Bedingungen der Versuche auf das in der ersten Abtheilung Mitgetheilte zu verweisen.

I. Papaver dubium.

Nickender Blüthenstiel; vor dem Abschneiden von der Pflanze wurde dieser dadurch gerade gemacht, dass die Last der Endknospe während eines halben Tages durch ein kleines, über eine Rolle die Knospe hinaufziehendes Gewicht aufgehoben wurde.

No. der 2 Cm. langen Abtheilungen.	Dicke.	Wachsthum vor der Biegung. (6 St.)	Wachsthum nach der Biegung. (16 St.)	Totale Ablenkung.	Bleibende Ablenkung.	Elastische Ablenkung.
I oben	1.6	1.6	0.6	35°	25°	10°
II	1.6	2.2	1.6	25°	20°	5°
III	1.6	1.9	0.2	15°	10°	5°
IV	1.6	0.3	0.2	5°	0°	5°
V	1.6	0.0	0.0	0°	0°	0°

Gewicht am 1 Cm. langen Hebelarm 2 Gramm. Beim Ziehen an der Knospe lag die am stärksten sich krümmende Strecke in einer Entfernung von 4—6 Cm. von der Knospe, bei einem Krümmungsradius von 1.5 Cm.

II. Dipsacus fullonum.

No. der 2 Cm. langen Abtheilungen.	Dicke.	Wachsthum vor der Biegung. (26 St.)	Wachsthum nach der Biegung. (8 St.)	Totale Ablenkung.	Bleibende Ablenkung.	Elastische Ablenkung.
I oben	4.0	1.8	0.6	30°	15°	15°
II	4.0	2.1	0.6	20°	10°	10°
III	4.2	2.9	0.2	20°	10°	10°
IV	4.3	2.3	1.0	20°	5°	15°
V	4.3	1.6	0.2	10°	5°	5°
VI	4.3	0.1	0.0	10°	5°	5°
VII	4.3	0.2	0.0	5°	0°	5°
VIII	4.2	0.0	0.0	0°	0°	0°

Gewicht am 1 Cm. langen Hebelarm 80 Grm. Stärkste Krümmung beim Herabziehen der Knospe zwischen 4 und 8 Cm. von der Inflorescenz entfernt (Krümmungsradius $2^1/_2$ Cm.).

III. Froelichia floridana.

No. der 2 Cm. langen Abtheilungen.	Dicke.	Wachsthum vor der Biegung. (7 St.)	Wachsthum nach der Biegung. (16 St.)	Totale Ablenkung.	Bleibende Ablenkung.	Elastische Ablenkung.
I oben	1.3	0.1	0.3	60°	30°	30°
II	1.4	0.2	0.6	40°	20°	20°
III	1.5	0.7	1.0	20°	10°	10°
IV	1.9	1.0	0.4	15°	10°	5°
V	2.0	0.7	0.2	10°	5°	5°
VI	2.0	0.1	0.0	5°	0°	5°
VII	2.0	0.0	0.0	0°	0°	0°

Gewicht am 1 Cm. langen Hebelarm 5 Gramm. Stärkste Krümmung beim Ziehen an der Inflorescenz zwischen 3 und 5 Cm. von dieser entfernt (Krümmungsradius 1.5 Cm.).

IV. Allium acutangulum.

No. der 2 Cm. langen Abtheilungen.	Dicke.	Wachsthum vor der Biegung. (22 St.)	Wachsthum nach der Biegung. (23 St.)	Totale Ablenkung.	Bleibende Ablenkung.	Elastische Ablenkung.
I oben	1.3	0.0	0.0	55°	20°	35°
II	1.4	0.0	0.2	40°	20°	20°
III	1.6	0.9	0.7	30°	20°	10°
IV	1.6	1.3	1.9	25°	15°	10°
V	1.7	2.4	1.6	20°	15°	10°
VI	1.8	2.0	1.0	15°	10°	5°
VII	1.9	1.6	0.0	10°	5°	5°

Gewicht am 1 Cm. langen Hebelarm 7 Gramm. Ort der stärksten Krümmung beim Ziehen der Inflorescenzknospe zwischen 2 und 6 Cm. von dieser entfernt (Krümmungsradius 3 Cm.).

V. Oxalis lasiandra.

No. der 2 Cm. langen Abtheilungen.	Dicke.	Wachsthum vor nach der Biegung (6½ St.)	(17 St.)	Totale Ablenkung.	Bleibende Ablenkung.	Elastische Ablenkung.
I oben	1.8	0.3	1.7	50°	20°	30°
II	2.0	0.7	2.3	20°	10°	10°
III	2.1	0.9	1.7	10°	5°	5°
IV	2.3	0.8	1.6	5°	0°	5°
V	2.3	1.1	0.9	2½°	0°	2½°
VI	2.4	0.4	0.4	0°	0°	0°
VII	2.4	0.0	0.0	0°	0°	0°

Gewicht am 1 Cm. langen Hebelarm 10 Grm. Stärkste Krümmung beim Ziehen an der jungen Inflorescenz in einer Entfernung von 5.8 Cm. von dieser (Krümmungsradius 2 Cm.).

Torsionsfähigkeit.

Der zu diesen Versuchen benutzte Apparat war der nämliche wie bei der Dehnung. Indem die Endknospe zwischen den beiden Korkplatten festgeschraubt ist, kann man leicht den älteren Theil des Sprosses mit der Hand um seine Achse drehen, wobei die jüngeren Theile eine entsprechende Torsion erfahren. Als feste Punkte zur Bestimmung der Grösse dieser Torsion in den einzelnen, je 2 Cm. langen Abtheilungen des Sprosses, wurden die Mitten der Querstriche benutzt, welche auch zur Messung des Wachsthums auf den Spross gemacht wurden. Es war unter diesen Umständen leicht, bis auf Achtel eines Kreises die Torsion zu messen, und wie die Versuche zeigen, genügt diese Genauigkeit vollständig. Während der Beobachtung wurde also die Anzahl der Achtel eines Kreises, welche die Torsion betrug, notirt, und hieraus später die Torsionswinkel in Graden berechnet.

Die Versuche führten zu folgendem Satze: Sowohl bei nach der Spitze verjüngten als bei cylindrischen oder an der Spitze keulenförmig angeschwollenen Sprossen nimmt die Torsionsfähigkeit vom Gipfel aus nach den älteren Theilen immer ab, auch wenn das Maximum der Partialzuwachse diesen Gipfel noch nicht erreicht hat. Ich überzeugte mich bei diesen Versuchen, dass auch innerhalb der jüngsten, 2 Cm. langen Strecke die Torsionsfähigkeit gegen die Spitze zunimmt.

Die Einzelheiten der Versuche waren die nämlichen wie bei den Versuchen über die Dehnung. Die benutzten Sprosse sind junge Stiele von Blüthen- oder Inflorescenzknospen. Temperatur 20—23° C. Von jeder Art führe ich auch nur einen Versuch an; die übrigen ergaben stets das nämliche Resultat.

I. Plantago lanceolata.

No. der 2 Cm. langen Abtheilungen.	Dicke.	Wachsthum vor der Torsion. (24 St.)	Wachsthum nach der Torsion. (24 St.)	Totale Torsion.	Bleibende Torsion.	Elasticche Torsion.
I oben	1.4	1.3	0.2	540°	135°	405°
II	1.4	1.9	2.2	135°	0°	135°
III	1.6	1.8	0.0	90°	0°	90°
IV	1.6	0.9	0.0	0°	0°	0°
V	1.6	0.1	0.0	0°	0°	0°

II. Froelichia floridana.

No. der 2 Cm. langen Abtheilungen.	Dicke.	Wachsthum vor der Torsion. (12 St.)	Wachsthum nach der Torsion. (11 St.)	Totale Torsion.	Bleibende Torsion.	Elastische Torsion.
I oben	1.4	0.2	0.4	360°	90°	270°
II	1.4	0.4	0.0	135°	25°	110°
III	1.6	0.7	1.0	45°	0°	45°
IV	1.8	1.9	2.4	45°	0°	45°
V	2.0	2.2	1.4	25°	0°	25°
VI	2.2	2.3	0.4	25°	0°	25°
VII	2.2	0.5	0.2	0°	0°	0°

III. Helenium mexicanum.

No. der 2 Cm. langen Abtheilungen.	Dicke.	Wachsthum vor der Torsion. (8 St.)	Wachsthum nach der Torsion. (18 St.)	Totale Torsion.	Bleibende Torsion.	Elastische Torsion.
I oben	1.6	1.1	0.2	270°	90°	180°
II	1.5	1.6	1.1	270°	90°	180°
III	1.5	0.9	0.5	135°	90°	45°
IV	1.5	0.0	0.0	45°	0°	45°
V	1.5	0.0	0.0	0°	0°	45°

IV. Allium microcephalum.

No. der 2 Cm. langen Abtheilungen.	Dicke.	Wachsthum vor der Torsion. (8 St.)	Wachsthum nach der Torsion. (18 St.)	Totale Torsion.	Bleibende Torsion.	Elastische Torsion.
I oben	1.5	0.6	0.6	450°	135°	315°
II	1.6	1.2	0.7	315°	135°	180°
III	2.0	1.8	1.8	135°	25°	110°
IV	2.4	1.5	2.3	90°	0°	90°
V	2.8	0.9	1.0	25°	0°	25°
VI	2.9	0.9	0.5	25°	0°	25°
VII	3.0	0.2	0.0	0°	0°	0°
VIII	3.1	0.1	0.0	0°	0°	0°

V. Thrincia hispida.

No. der 2 Cm. langen Abtheilungen.	Dicke.	Wachsthum vor der Torsion. (12 St.)	Wachsthum nach der Torsion. (11 St.)	Totale Torsion.	Bleibende Torsion.	Elastische Torsion.
I oben	1.6	0.7	0.2	315°	90°	225°
II	1.7	2.8	1.0	135°	45°	90°
III	1.9	3.2	0.7	90°	45°	45°
IV	1.9	2.8	0.5	0°	0°	0°
V	2.0	0.1	0.0	0°	0°	0°

VI. Saponaria officinalis.

No. der 2 Cm. langen Abtheilungen.	Dicke.	Wachsthum vor der Torsion. (8 St.)	Wachsthum nach der Torsion. (17 St.)	Totale Torsion.	Bleibende Torsion.	Elastische Torsion.
I oben	2.0	0.0	0.2	135°	45°	90°
II	2.3	0.3	0.5	90°	0°	90°
III	2.5	0.7	0.1	0°	0°	0°
IV	2.6	0.7	0.0	0°	0°	0°
V	2.7	0.1	0.0	0°	0°	0°

VII. Valeriana officinalis.

No. der 2 Cm. langen Abtheilungen.	Dicke.	Wachsthum vor der Torsion. (8 St.)	Wachsthum nach der Torsion. (17 St.)	Totale Torsion.	Bleibende Torsion.	Elastische Torsion.
I oben	1.8	0.9	0.4	360°	135°	225°
II	2.2	3.9	0.7	180°	45°	135°
III	2.2	2.2	0.2	90°	0°	90°
IV	2.4	0.8	0.0	0°	0°	0°
V	2.6	0.1	0.0	0°	0°	0°

VIII. Alisma Plantago.

No. der 2 Cm. langen Abtheilungen.	Dicke.	Wachsthum vor der Torsion. (7 St.)	Wachsthum nach der Torsion. (18 St.)	Totale Torsion.	Bleibende Torsion.	Elastische Torsion.
I oben	2.9	0.7	—	180°	90°	90°
II	3.9	1.6	1.4	90°	25°	65°
III	4.2	2.7	2.1	25°	0°	25°
IV	4.4	3.5	2.7	25°	0°	25°
V	4.4	4.5	0.5	25°	0°	25°
VI	4.4	3.0	0.5	0°	0°	0°
VII	4.6	1.0	0.0	0°	0°	0°

Vergleicht man zum Schluss die aus den drei Versuchsreihen gewonnenen Resultate mit einander, so zeigt sich eine vollständige Uebereinstimmung. Man kann sie also in einem Satze zusammenfassen: In wachsenden, stark turgescirenden Sprossen besitzen die Dehnbarkeit, Biegsamkeit und Torsionsfähigkeit in der unmittelbaren Nähe der Endknospe ein Maximum und nehmen mit zunehmender Entfernung von dieser stetig ab. Dieser Satz gilt unabhängig von dem Alter des wachsenden Sprosses. Die mitgetheilten Versuche bezogen sich auf den Zustand, wo das Maximum der Partialzuwachse den Gipfel noch nicht erreicht hatte; dass der Satz auch für den späteren Zustand der Sprosse, wo das Wachsthumsmaximum bereits den Gipfel erreicht hat, seine Gültigkeit hat, bedarf wohl keines weiteren Beweises; in manchen Versuchen, wo die Sprosse schon älter waren als sich voraussehen liess, bestätigte sich übrigens diese Folgerung.

XVII.

Untersuchungen über die Regeneration des Vegetationspunktes an Angiospermenwurzeln [1].

Von

Dr. K. Prantl.

Veranlasst durch die Beobachtung CIESIELSKI's [2], dass an Wurzeln, deren Spitzen abgeschnitten waren, nach einigen Tagen eine neue Wurzelspitze auftrat, unterzog ich die nach dem Abschneiden des Vegetationspunktes stattfindenden Vorgänge einer eingehenderen Untersuchung, welche für einige Wurzeln der Angiospermen zum Abschlusse gelangt ist.

Betreffs der Methode brauche ich nichts weiter anzuführen, als dass die Keimpflanzen [3] von Zea Mais, Pisum sativum und Vicia Faba in feuchten lockeren Sägespänen cultivirt wurden und zwar in grosser Anzahl, bei jeder Versuchsreihe etwa 150; die Keimlinge waren aus einer noch grösseren Anzahl von Samen ausgewählt. Die Wurzeln wurden, wenn sie eine Länge von etwa 1—2 Centim. erreicht haben, in der, je nach den Versuchen, im Folgenden näher anzugebenden Weise verstümmelt und in senkrecht abwärts gerichteter Stellung weiter cultivirt. Jeden Tag ungefähr zur gleichen Stunde wurde eine Anzahl derselben auf Längsschnitten, unter Umständen auch auf Querschnitten untersucht. Als das geeignetste Anschwellungsmittel für die Schnitte benütze ich eine ausserordentlich verdünnte Kalilösung, welche dem Präparat zugesetzt, die Zelleninhalte vollkommen homogen und durchsichtig macht, wodurch die Membranen mit ausnehmender Schärfe hervortreten.

---

1) Dieselben wurden, theilweise in etwas veränderter Form, im Juli 1873 als Habilitationsschrift veröffentlicht.

2) Untersuchungen über die Abwärtskrümmnng der Wurzel. Beiträge z. Biol. d. Pfl. hersg. v. COHN. II Heft. Breslau 1872.

3) Die gleichen Resultate erhielt ich auch an den starken Knotenwurzeln von Maispflanzen, die im Wasser cultivirt werden.

I. *Zea Mais*.

Es dürfte nicht überflüssig erscheinen, zunächst den Bau der unverletzten Wurzelspitze genauer zu betrachten, da deren Beschreibung bei Reinke[1]) den Thatsachen nicht entspricht. Eine vollkommen zutreffende Abbildung gab bereits viel früher Sachs[2]). Schon auf den ersten Blick macht sich eine sehr scharfe Abgrenzung der Haube vom Wurzelkörper geltend. Dieselbe findet darin ihren näheren Ausdruck, dass die radial gestreckten und sehr niedrigen Epidermiszellen stark verdickte Aussenwände besitzen, so dass eine continuirliche Verdickungsmasse den Wurzelkörper bis ganz nahe an den vertieft liegenden Scheitelpunkt begrenzt. Aber auch am Scheitelpunkt selbst, wo diese Verdickung noch nicht existirt und die jungen Epidermiszellen noch keine so ausgeprägte Gestalt besitzen, treffen die Längswände der centralen (in Längsreihen geordneten) Zellen der Wurzelhaube fast niemals auf die Längswände der Zellen des Wurzelkörpers. Es erscheint somit die Annahme einer Spaltung der jungen Epidermis in Haubenschichten und Epidermis, welche in einiger Entfernung vom Scheitel unmöglich ist, auch am Scheitelpunkt selbst im höchsten Grade unwahrscheinlich; ich spreche daher der Wurzelhaube ihr eigenes, vom Wurzelkörper unabhängiges Meristem, die sog. Säule, zu.

Im Wurzelkörper existiren keine besonderen Initialen der Epidermis; vielmehr nehme ich fast immer am Scheitelpunkte zwei dominirende Zellen wahr, an welche ich seitlich nicht bloss Rindenzellreihen, sondern auch die Epidermis selbst ansetzt. Wo ich solche dominirende Zellen nicht bemerkte, gerade da konnte ich aus anderen Ursachen den Schnitt als einen schiefen oder nicht medianen erkennen; zudem wäre es unerklärlich, wie auf schiefen oder neben der Axe vorbeigegangenen Schnitten eine derartige Anordnung sichtbar werden sollte, wenn die Reinke'sche Annahme besonderer Epidermisinitialen richtig wäre. Die inneren Schichten des Rindengewebes, sowie der Fibrovasalkörper endigen in einem Meristem, in welchem es mir nicht gelang, die Längsreihen mit Sicherheit zu verfolgen[3]). Im Fibrovasalkörper differenzirt sich schon in kurzer Entfernung vom Scheitel ein von lufthaltigen Intercellularräumen durchsetztes Markgewebe, wodurch das Procambium die Form eines Hohlcylinders erhält. Im Procambium selbst erkennt man Reihen von sehr breiten Zellen, welche unten ziemlich niedrig, gegen oben hin allmählich höher werden und weiterhin

---

1) Untersuchungen über Wachsthumsgeschichte und Morphologie der Phanerogamenwurzel., Botan. Abhandl. hrsg. v. Hanstein. I. 3. Bonn 1871. p. 43.

2) Lehrbuch d. Botanik. 1. Aufl. Fig. 111. p. 137.

3) Die hier gegebene Darstellung des Vegetationspunktes der Maiswurzel scheint, soweit die kurze Notiz schliessen lässt, durch die Untersuchungen Janczewski's vollkommen bestätigt zu werden, s. Bot. Zeit. 1874. p. 113.

den bekannten grossen Gefässen den Ursprung geben; ich will diese Zellen der Kürze halber Gefässzellen nennen.

---

1. Die Vorgänge an Wurzeln, deren Spitzen quer abgeschnitten wurden, sind, wie sich leicht voraussehen lässt, verschieden nach der Höhe, in welcher der Schnitt geführt wird, und zwar je nach der Lage und somit dem Alter der blossgelegten Querzone im Allgemeinen von dreierlei Art. Da aber die Eigenschaften der vom Schnitt betroffenen Zellen sich nur allmählich mit ihrer Entfernung vom Scheitel ändern, so giebt es selbstverständlich Uebergänge; weitere Complicationen treten ferner auf, wenn der Schnitt nicht genau quer zur Längsaxe, sondern etwas tief geführt wird.

a. Eine vollkommene Regeneration der Wurzelspitze mit Betheiligung aller Gewebesysteme findet dann statt, wenn der Schnitt etwa da geführt wird, wo die bogige Anordnung der Zellreihen in die gerade übergeht, wobei also ausser dem oben erwähnten Meristem nur sehr wenig entfernt wird. Es wurde diess durch folgendes Verfahren erreicht, und zwar, wie der Erfolg gezeigt hat, mit hinreichender Sicherheit. Von der Spitze der Wurzelhaube anfangend nahm ich nacheinander so lange fort dünne Querschnitte ab, bis auf der Schnittfläche eben die einzelnen Gewebesysteme in scharfer Begrenzung sichtbar wurden. Wie schon eine einfache Ueberlegung zeigt, ausserdem aber auch noch durch die mikroskopische Untersuchung sowohl der abgetragenen Querschnitte, als auch des verstümmelten Wurzelkörpers an einer Anzahl von Exemplaren constatirt wurde, war hiemit die im Obigen vorgesteckte Absicht erreicht.

Wurde hiebei mit der nöthigen Sorgfalt und Genauigkeit verfahren, so traten die im Folgenden beschriebenen Erscheinungen nicht etwa bloss als zufällige Vorkommnisse bei der einen oder der anderen Wurzel auf, sondern ausnahmslos an sämmtlichen Versuchsobjecten in gleicher Weise. Auch die individuellen Verschiedenheiten in mehr oder minder raschem Durchlaufen der einzelnen Stadien waren nur minimal.

Die in dieser Weise behandelten Wurzeln wuchsen, wie schon von Sachs[1]) gezeigt wurde, in vollkommen unveränderter Weise weiter, sowohl was den Gesammtzuwachs, als die Grösse der Partialzuwachse betrifft. Nutationen finden im Vergleich mit den normalen Wurzeln in kaum wahrnehmbar vermehrtem Maasse statt; die senkrecht gesteckten behielten diese Richtung bei; wagerecht gelegte krümmten sich fast immer wie normale abwärts. Es könnte scheinen, als läge hierin ein Widerspruch mit den Angaben Sachs', welcher von sehr starken Nutationen spricht; allein Sachs hatte bei seinen Versuchen die Zone, in welcher die Spitze hinweggenom-

---

1) Ueber das Wachsthum der Haupt- und Nebenwurzeln. Arb. d. bot. Inst. in Würzburg. 3. Heft p. 432.

men wurde, nicht genau fixirt und daher nicht bloss vorliegenden Fall, sondern auch den unter b. zu behandelnden, vielleicht der Mehrzahl nach Zwischenbildungen vor sich.

Die anatomische Untersuchung nach etwa 24 Stunden[1]) ergab, dass die der Schnittfläche angrenzenden Zellen sämmtlicher Gewebe senkrecht zur Schnittfläche, also parallel zur Längsachse ausgewachsen waren; und zwar kommt hiebei bis zu einem gewissen Grade jeder einzelnen Zellreihe Selbstständigkeit zu. Die Differenzen in den Längen, welche von den einzelnen Zellreihen erreicht worden waren, waren bedeutender, als die Grösse der durch den Schnitt verletzten Zellen betragen konnte, deren Reste übrigens, wohl vermittelst des kräftigen Wachsthums im lockeren Boden, fast spurlos verschwunden waren.

Die Intensität des Auswachsens hängt übrigens im Allgemeinen vorzugsweise von dem Charakter der betheiligten Zellen ab. Während die Epidermis nur sehr wenig hervorwächst, steigert sich die Intensität im Rindengewebe nach innen zu stetig und erreicht im Centrum des Fibrovasalkörpers ihr Maximum, so dass also die Gestalt der Wundfläche aus der ebenen in eine nahezu kugelschalige, flach paraboloidische übergegangen war.

Die hervorgewachsenen Epidermiszellen sind etwas mehr in die Länge gestreckt als die normalen und durch etwas schiefe (nach vorne convergirende) Querwände begrenzt, im Uebrigen von den dahinter liegenden nicht verschieden. — Die aus dem Rindengewebe hervorgegangenen Zellen unterscheiden sich von den letzteren durch Mangel der lufthaltigen Intercellularräume und etwas dichteren Inhalt; die Querwände stehen etwas schief, nach vorne convergirend; diese schräge Stellung steigert sich im weitern Verlaufe noch mehr. — Gering ist die Differenz zwischen dem Fibrovasalkörper und dem aus ihm hervorgewachsenen Gewebe; doch gilt für das centrale Mark das gleiche wie für die Rinde, nur sind die Querwände hier steiliger. Bemerkenswerth ist, dass häufig (aber nicht immer) in den Gefässzeilen, soweit sie hervorgewachsen waren, Theilungen nach allen Richtungen eingetreten waren, wodurch ihre hervorragende Eigenthümlichkeit in dem neu zugewachsenen Gewebe nahezu verloren ging. Das ganze übrige Gewebe behielt die Anordnung der Zellen zu Längsreihen mit noch nahezu überall horizontalen Querwänden vollständig bei. Die äussersten Zellen waren über die ganze Wundfläche hin durch einen grösseren Längsdurchmesser vor den hinter ihnen liegenden ausgezeichnet.

Es hatte sich somit ein Gewebecomplex gebildet, den wir im Vergleiche mit ähnlichen Bildungen an der Wundfläche anderer Organe, besonders

---

1) Bei Sommertemperatur; bei niedrigerer Temperatur verlauft der ganze Regenerationsgang viel langsamer.

von Stengeln, als Callus bezeichnen. In diesem Callus sind die Eigenthümlichkeiten der verschiedenen Systeme, welchen er entstammt, nicht mehr ausgesprochen; eine ideale Fläche, in welcher der Callus an den differenzirten älteren Wurzelkörper angrenzt, bezeichnen wir, lediglich der Kürze des Ausdrucks halber, als Callusgrenze; dieselbe ist aber keineswegs scharf bestimmt. Ihre Gestalt ist aber im vorliegenden Stadium weder eben, noch mit der Wundfläche parallel, sondern flacher gewölbt, als letztere.

Daraus nun, dass das Wachsthum der Wurzel sowohl bisher, als auch späterhin unverändert seinen Fortgang nimmt, folgt, dass dieses Wachsthum nicht bloss auf Kosten der nach der Verstümmelung noch vorhandenen jüngsten Zellen, durch deren Streckung und Uebergang in Dauergewebe, stattgefunden hat, sondern dass unterdessen Neubildung neuer wachsthumsfähiger Zellen stattgefunden haben muss. Der Ort dieser Neubildung des Zellennachschubes, wie wir sie kurz nennen wollen, ist in der nächsten Umgebung der Callusgrenze zu suchen. Denn dass der Zellennachschub nicht vom Callus selbst vermittelt wird, das beweisen uns vorzugsweise jene unregelmässigen Theilungen in den Gefässzellen, welche nur bis zur Callusgrenze herauf statthaben und von deren Spuren in den neu heranwachsenden Partieen des Wurzelkörpers nie etwas angetroffen werden kann. Viel hinter der Callusgrenze können wir den Zellennachschub auch nicht annehmen, da er, wie später gezeigt werden wird, unterbleibt, wenn mehr von der Wurzelspitze hinweggenommen wurde. Die Art und Weise des Zellennachschubes kann nur so angenommen werden, dass jede Längsreihe mittelst quergestellter Theilungswände für sich selbst neue wachsthumsfähige Zellen nachschiebt. Dabei muss aber schon jetzt hervorgehoben werden, dass die Callusgrenze keineswegs eben ist und der ursprünglichen Schnittfläche entspricht, unter welche nur der Callus hinausgewachsen wäre, sondern dass sie stets nach vorne rückt, sich der vorderen Oberfläche immer mehr nähert. Jede der Längsachse näher gelegene Zellreihe ist nämlich im Verhältniss viel ausgiebiger thätig im Zellennachschub, als die weiter nach aussen gelegenen, und es wird dadurch differenzirtes normales Wurzelgewebe weit über eine Ebene hinausgebildet, die man sich durch das Ende der alten Epidermis gelegt denken kann.

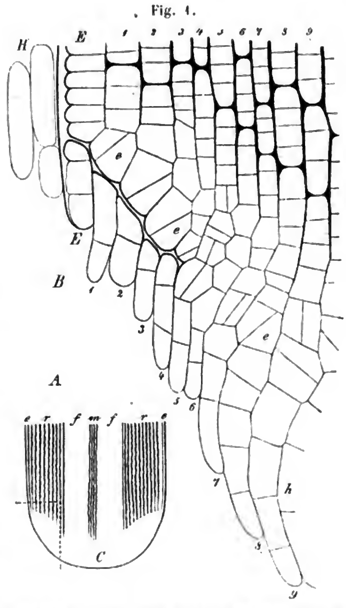
Nach weiteren 24 Stunden erreichen die Vorgänge das zweite Stadium, welches charakterisirt ist durch die Anlage einer neuen Epidermis und Bildung einer provisorischen Wurzelhaube.

Die Epidermis bildet sich von aussen beginnend in einer Zone des aus Rindengewebe hervorgegangenen Callus (Fig. 1. e) indem in jeder Längsreihe eine Zelle ihre (etwas schief gestellte) Aussenwand allmählich in der für die Epidermiszellen charakteristischen Weise verdickt, einen dich-

teren Inhalt annimmt und sich fortan nicht mehr durch tangentiale, sondern durch radiale Wände theilt. Diese Zellen der verschiedenen Längsreihen liegen alle in einer mit der nun viel steiler gewölbten Wundfläche parallelen Zone; doch lassen sich wie die Figur zeigt, noch sämmtliche Längsreihen der Rindenzellen sehr leicht durch dieselbe hindurch verfolgen. — In den centralen Pariteen des Callus herrschen zahlreiche Quertheilungen, welche jedoch noch zu keiner Sonderung verschiedener Gewebe führen.

Alles dasjenige Callusgewebe, welches ausserhalb der neuen Epidermis liegt, wird zur provisorischen Wurzelhaube, die äusseren Zellen, welche keine Theilungen mehr erfahren, werden abgestossen. Das gleiche Schicksal erleiden auch die äussersten Zellen des centralen, aus dem Fibrovasalkörper und dem Mark hervorgegangenen Callus. Die hier weiter rückwärts stattfindenden zahlreichen Quertheilungen erinnern bereits lebhaft an die Vorgänge in der Säule der normalen Wurzelhaube und es lässt sich mit ziemlicher Wahrscheinlichkeit annehmen, dass hier auch nach vorne hin Zellen für die provisorische Wurzelhaube gebildet werden, ebenso wie nach rückwärts für den Wurzelkörper. Es besteht noch eine weitere bemerkenswerthe Aehnlichkeit zwischen diesen äussersten, provisorisch als Wurzelhaube fungirenden Zellen des Callus und denen einer normalen Wurzelhaube; sie sind nämlich, gleich diesen, mit kleinen Stärkekörnchen angefüllt, deren Ablagerung schon im vorausgegangenen Stadium begonnen hatte.

Fig. 1.

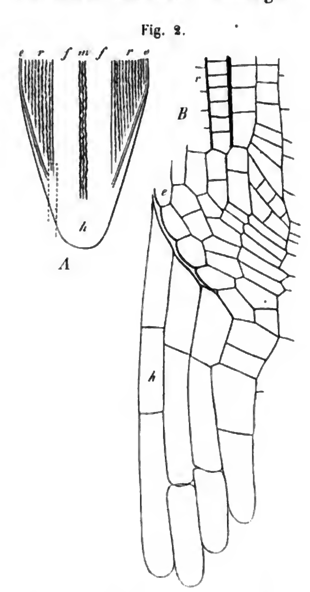


Längsschnitt einer regenerirenden Maiswurzel mit beginnender Epidermisbildung. *A* schematisch, etwa 15mal vergrössert. *e* Epidermis, *r* Rinde, *f* Fibrovasalkörper, *m* Mark, *C* Callus. *B* Das punktirte Stück der Fig. *A* stärker vergrössert, genau nach der Natur gezeichnet; *E* die alte Epidermis 1—9 Rindenzellreihen, in denen sich die neue Epidermis *ee* bildet, *h* provisorische Wurzelhaube, *H* Reste der alten Haube.

Im Zeitraum von etwa zwei Tagen vollzieht sich nun die vollständige Ausbildung eines normalen Vegetationspunktes.

Die nächste Erscheinung, welche unmittelbar zur Beobachtung gelangt, ist die Aufrichtung der neugebildeten Epidermis in eine steilere, sich immer mehr der geraden nähernden Lage, während in der neuen Epidermis selbst zahlreiche Theilungen quer zum nunmehrigen Längsverlaufe stattfinden, welche sich von denjenigen einer normalen Epidermis in Nichts unterscheiden. Die daranstossenden Zellen der provisorischen Haube werden völlig abgeworfen (Fig. 2 *A*.). Diese Aufrichtung wird aber nicht einfach durch das noch immer vorwiegende stärkere Längenwachsthum der inneren Schichten veranlasst, sondern es werden zugleich durch sehr complicirte Theilungsvorgänge unmittelbar hinter der neuen Epidermis die Rindenzellreihen, welche durch die Epidermisbildung gleichsam abgestutzt worden waren (Fig. 1 *B* endigt z. B. auch die innen gelegene Reihe 8 an der Epidermis), wieder ergänzt. Diese complicirten Theilungsvorgänge finden darin ihren Gesammtausdruck, dass die Anordnung der ursprünglichen Längsreihen vollständig verwischt wird und aus den neugebildeten Zellen Fortsetzungen der Rindenreihen werden, welche nun verschiedenen der ursprünglichen Längsreihen entstammen.

Fig. 2.



Längsschnitt einer regenerirenden Spitze der Maiswurzel im Beginn der Bogenanordnung. *A* 15mal vergrössert schematisch, *e* Epidermis, *r* Rinde, *f* Procambium, *m* Mark, *ff* Wurzelhaube; *B* das Stück ++ stärker vergrössert nach der Natur.

Von der grössten Wichtigkeit sind aber schräge Theilungen in den peripherischen Theilen des aus dem Fibrovasalgewebe hervorgegangenen Callus, welche schon stellenweise im vorigen Stadium sichtbar waren, jetzt aber ihre Bedeutung erkennen lassen. Diese schrägen Theilungen (Fig. 2 *B*.) führen nämlich die bogige Anordnung der Zellreihen im künftigen Scheitel herbei. Durch sehr zahlreiche rasch aufeinanderfolgende Theilungen sowohl in dieser schrägen, als in senkrechter Richtung wird dazu die ursprüngliche Anordnung in Längsreihen sehr bald verwischt und es lässt sich nur so-

viel mit Sicherheit feststellen, dass aus diesen Vorgängen bogig angeordnete Rindenzellreihen resultiren, welche sich an die bereits bestehenden Rindenzellreihen anschliessen, während gleichzeitig die Regenerationsvorgänge in dem aus der Rinde hervorgegangenen Callus ihren Abschluss erreichen. Somit geht auch die Function des Zellennachschubes für die Zellreihen der Rinde an die Bogenreihen über.

Späterhin werden die Bogenreihen des Fibrovasalkörpers selbst in den inneren Partieen angelegt; die Epidermisbildung schreitet fortwährend nach dem Centrum zu fort, äussert sich aber nur in der Ausbildung einer continuirlichen Schicht, nicht in der Bildung der Verdickungen, entsprechend den Verhältnissen am normalen Scheitel; das ausserhalb dieser jungen Epidermisschichte liegende Gewebe, in welchem fortwährend lebhafte Quertheilungen stattfinden, bedarf keiner Aenderung mehr, um die vollkommen normale Wurzelhaube darzustellen. Binnen Kurzem bietet schliesslich der Vegetationspunkt vollständig das Bild eines normalen dar.

Es verdient hervorgehoben zu werden, dass nach vollendeter Regeneration die Wurzel in ihrem Bau vollständig identisch ist mit einer normalen Wurzel, welche unterdessen ungestört weiter gewachsen ist; wenn man von den einzelnen schrägen Querwänden absieht, die in den äusseren Rindenzellreihen erhalten bleiben, ist es absolut unmöglich, eine regenerirte Wurzel von einer normalen zu unterscheiden. Dass die neu entstandenen Epidermiszellen wie die übrigen Wurzelhaare erzeugen, braucht wohl kaum hervorgehoben zu werden. Es ist bekannt, dass die Wurzel während des energischen Längenwachsthums an Dicke abnimmt, dass die später zugewachsenen Partieen einen geringeren Durchmesser haben, als die älteren. Genau dasselbe findet auch an der sich regenerirenden Wurzel statt. Während aber dieser Umstand dem Unterbleiben der Spaltungen in den Reihen nahe dem Scheitel sein Zustandekommen verdankt, muss es hier in unserem Falle wohl dadurch geschehen, dass einzelne Längsreihen ihre nachschiebende Thätigkeit einstellen. Meine Versuche, dieses Ausgehen einzelner Reihen wirklich zu beobachten, scheiterten an der Unsicherheit, mit der man auf Längsschnitten einen etwas unregelmässigen Verlauf der Längsreihen beurtheilen muss. — Ausserdem verlieren die normalen dünner werdenden Wurzeln das Mark; auch dieser Umstand tritt an den regenerirenden ein, gerade zu der Zeit, wenn die allerletzte Ausbildung statthat. Sie haben dann ungefähr eine Länge und Dünne erreicht, wie sie die normalen beim Verschwinden des Markes besitzen. Das Detail dieses Vorganges entzieht sich in beiden Fällen der Untersuchung; doch dürfte hierin ein wichtiger Anhaltspunkt liegen, das Mark der Wurzeln nicht als Grundgewebe, sondern vielmehr als erstes Differenzirungsproduct des Fibrovasalkörpers zu betrachten.

Ein einzelner abnormer Fall bietet besonderes Interesse dar. Es waren nämlich an Stelle eines zwei neue Wurzelscheitel aufgetreten und

zwar erst während des allerletzten Stadiums der Regeneration. Die Wurzel war fast so lang, wie die übrigen zu der Zeit, wann eben die letzten Anordnungen stattfinden, war aber dicker, enthielt noch das Mark und trug am Ende zwei divergirende gleich starke noch kurze Spitzen. Ich mache mir folgende Vorstellung vom Zustandekommen dieser Abnormität: die Wurzel war unter Callusbildung (abgesehen von der minder starken Verdünnung) ganz gleich den übrigen weitergewachsen, indem die Zellen an der Callusgrenze fortwährend den Nachschub besorgten. Nur die Bogentheilungen ordneten sich (vielleicht in Folge einer äusseren Verletzung in der Mitte) anstatt um die ursprüngliche Längsachse um zwei neue. Dabei setzten sich die neuen Bogenreihen der Rinde beiderseits an das bisherige Mark an. Die Bildung zweier getrennter Wurzelkörper konnte erst dann stattfinden, wenn die Function des Zellennachschubes an die bogig angeordneten Zellen übergegangen war.

b. Eine procambiale Regeneration, ausschliesslich aus dem Fibrovasalkörper tritt dann ein, wenn die Wurzel etwas weiter hinter dem Scheitel quer abgeschnitten wird, als diess bei der vorigen Versuchsreihe geschah. Die grösste Schwierigkeit bei der Untersuchung dieser Verhältnisse liegt darin, dass man weder ein Mittel hat, an einer bestimmten Stelle zu schneiden, noch auch nachher einen Anhaltspunkt zur Beurtheilung der Lage des Schnittes; es lässt sich daher auch nicht genau feststellen, in wie weit die auftretenden Verschiedenheiten in dem Verhalten dieser Wurzeln von der Lage des Schnittes bedingt sind. Nur eine, allerdings ziemlich weite, Grenze für die Lage des Schnitts konnte bestimmt werden, dass nämlich noch ein kleiner Theil des äusserlich gelblich erscheinenden Gewebes an der Wurzel erhalten blieb.

Die so behandelten Wurzeln wachsen viel weniger in die Länge als die normalen und hören auch bald zu wachsen auf. Sie zeigen während dieser Zeit auffallend starke Nutationen, so dass auch die senkrecht gesteckten diese Lage fast nie beibehalten.

Die mikroskopische Untersuchung zeigt, dass die Zellen des Rindengewebes in den Dauerzustand übergegangen sind und ebenso auch, wenigstens theilweise, die Zellen des Fibrovasalkörpers bis nahe an die Wundfläche hin; bei letzteren spricht sich der Dauerzustand hauptsächlich in der Bildung von Gefässen und Siebröhren aus. Der Zellennachschub unterbleibt hier, somit auch das weitere Längenwachsthum.

Ein Auswachsen der Zellen gegen die Wundfläche hin, eine Callusbildung findet wohl statt, allein in anderer Weise, als in dem früher betrachteten Fall. Die Rindenzellreihen erreichen schon nach wenigen Theilungen ihren Dauerzustand und kommen gar nicht zur Bildung eines fortbildungsfähigen Gewebes. Nur aus dem Gewebe des Fibrovasalkörpers wächst ein fortbildungsfähiger Callus; doch kommen hier bedeutende Verschiedenheiten vor. In einigen Fällen wird durch Bogentheilungen in den

hervorgewachsenen Längsreihen eine einheitliche neue Spitze angelegt, welche die ursprüngliche Wachsthumsrichtung fortsetzt; häufig treten mehrere solcher Centra auf, um die sich die Bogentheilungen gruppiren. Ob diese Verschiedenheit in der Entfernung der Wundfläche vom Vegetationspunkt, in einem früheren Erlöschen der Bildungsfähigkeit im Mark, oder in anderweitigen Ursachen ihren Grund hat, vermag ich nicht anzugeben. Hingegen lässt sich wohl sicher annehmen, dass die bisweilen erfolgende Betheiligung der innersten Rindenzellschichten an der Neubildung dann erfolgt, wenn die Lage des Schnitts sich der unter a) beschriebenen etwas nähert.

Aeusserlich ist diese procambiale Regeneration schon dadurch charakterisirt, dass das Längenwachsthum der Wurzel sistirt wird und erst nach Constituirung des neuen Vegetationspunkts von Neuem anhebt. Dabei sieht man leicht, dass die neue Wurzelspitze aus der Wundfläche hervorbricht und von dem Ende des Rindengewebes umgeben wird, in ähnlicher, wenn auch minder ausgiebiger Weise, wie die hervorbrechende Keimwurzel von der Wurzelhaube. Es kann desshalb keinem Zweifel unterliegen, dass Ciesielski diese Art von Regeneration beobachtete und nicht die oben von mir beschriebene vollkommene. Denn er spricht ausdrücklich vom Hervorbrechen der neuen Wurzelspitze, sowie von der nicht seltenen Bildung mehrerer Wurzelspitzen. Auch seine Abbildung (Taf. I. Fig. II c) lässt die ursprüngliche Wundstelle (*sf*) erkennen, ein Umstand, der bei der vollkommenen Regeneration niemals zur Beobachtung gelangen kann. Auch Sachs hatte offenbar, wie bereits erwähnt, unter anderen auch solche Wurzeln vor sich, wenn er von den starken Nutationen spricht, wahrscheinlich aber auch Uebergangsbildungen, an welchen eine theilweise Betheiligung des Rindengewebes stattfand, da zugleich ein energisches Wachsthum constatirt wurde.

c. Nimmt man noch mehr von der Wurzelspitze durch einen Querschnitt hinweg, so dass also beiläufig von dem äusserlich gelblich erscheinenden Gewebe nichts mehr an der Wurzel zurückbleibt, so tritt überhaupt keine Regeneration ein. Eine Callusbildung erfolgt nur aus dem Rindengewebe und zwar so, dass die äussersten Zellreihen sowie die Epidermis viel stärker nach vorne hin auswachsen, als die inneren und sich so die ganze Rinde über dem sich nicht mehr nach vorne verlängernden Fibrovasalkörper zusammenlegt. Dieser Rindencallus ist aber keiner Neubildung fähig, sondern geht nach wenigen Quertheilungen in Dauergewebe über. Im Fibrovasalkörper finden fast keine Quertheilungen statt. Selbstverständlich nimmt das ganze Gewebe der Wurzel unter verhältnissmässiger Streckung seinen Dauerzustand an. Im Pericambium treten zahlreiche Nebenwurzelanlagen auf, welche aber, soviel ich beobachten konnte, niemals aus der Wundfläche, sondern stets, wie an einer normalen Wurzel, aus der Längsoberfläche hervorbrechen.

d. Es wurde bereits der Complicationen in diesen Vorgängen Erwähnung gethan, welche durch eine kleine Neigung der Schnittfläche zur Längsachse der Wurzel herbeigeführt werden. Nachdem wir den Erfolg des Querabschneidens in verschiedenen Regionen kennen gelernt haben, dürfte es nicht uninteressant sein, wenigstens einige auffallende Beispiele der Art zu betrachten, wenn durch die Neigung der Schnittfläche Gewebepartieen verschiedener Entwicklungsfähigkeit gleichzeitig auf verschiedenen Seiten blossgelegt werden.

Bewegte sich der Schnitt noch vollständig in der jüngsten Region (wie sie unter a. verstanden wurde), so trat zunächst das Hervorwachsen an beiden Seiten in ungleichem Maasse ein, indem die etwas länger gebliebene Seite viel stärker wuchs; es wurde dadurch die äussere Oberfläche schief paraboloidisch; ja es kam selbst (wenn auch selten) der Fall vor, dass an dieser längeren Seite die Rinde ebenso stark wuchs, wie das angrenzende Fibrovasalgewebe. Immer aber wurde die Ebene, welche durch die Enden der Epidermis gelegt werden kann, viel schräger, als die ursprüngliche Wundfläche war. Wenn nun das Rindengewebe auf der einen Seite im Verhältniss zur andern stark im Wachsthum zurückgeblieben war, so erfolgte eine stärkere Betheiligung des Fibrovasalgewebes der betreffenden Seite an der Regeneration der Rindenzellen, und es trat diess gewöhnlich früher ein, als auf der anderen Seite die entsprechenden Theilungen sichtbar wurden. So bietet der Fall einen Uebergang zur procambialen Regeneration dar; weitere Uebergänge liefern dann die Fälle, wo das Rindengewebe der einen Seite sich gar nicht mehr betheiligt.

Schiefe Schnitte, welche weiter hinten geführt wurden, bedingen einen ungleichseitigen Verlauf der procambialen Regeneration. Wird auf der kürzeren Seite eine nicht mehr neubildungsfähige Region des Fibrovasalkörpers blossgelegt, so tritt, da die Regeneration nur in der einen Hälfte des Fibrovasalkörpers erfolgt, in Folge der durch das ungleichseitige Wachsthum bewirkten Spannung die neue Wurzel schräg aus der Wundfläche hervor. Von der Nebenwurzelbildung ist dieser Fall durch die Betheiligung anderer Zellschichten ausser dem Pericambium, sowie auch äusserlich durch das Hervorbrechen aus der Wundfläche verschieden. Zudem tritt diese einseitige procambiale Regeneration, wie überhaupt jede Regeneration zeitlich lange vor dem Hervorbrechen der benachbarten Nebenwurzeln auf.

2. Die Regeneration an gespaltenen Wurzeln wurde von Sachs beobachtet. Die hier auftretenden Verhältnisse erscheinen anfänglich ziemlich complicirt, da Gewebe von sehr ungleichem Alter blossgelegt werden und unterdessen ein nicht unbedeutendes, wenn auch hinter dem normalen zurückbleibendes Längenwachsthum stattfindet. Unter Berücksichtigung dessen aber, was wir in Obigem über die Entwicklungsgeschichte verschiedener alter Querschnitte kennen gelernt haben, ist das Verständniss der vorliegenden Thatsachen unschwer zu erreichen.

Ich nahm bei diesen Versuchen die eine Längshälfte nicht vollständig hinweg, um nicht den Anhaltspunkt für die Beurtheilung der Lage des Schnitts zu verlieren, sondern führte nur einen möglichst axilen Längsspalt bis etwa 1 Centim. von der Spitze rückwärts. Die vollständig gleiche Weiterentwicklung beider so erhaltener Längshälften zu je einer neuen vollständigen Wurzelspitze bot die genügende Garantie, dass der Schnitt axil verlaufen war; zudem bot diese Methode den Vortheil, die eine der beiden gleichen Hälften auf Längsscheiben, die andere auf Querschnitten untersuchen zu können. Diejenigen Individuen, an welchen sich eine Längshälfte viel stärker entwickelte, als die andere, unterzog ich keiner weiteren Untersuchung, da sie keine neuen Resultate versprachen.

Zunächst tritt Callusbildung an der Schnittfläche ein und zwar am ausgiebigsten in der Umgebung des Scheitels selbst; wie Querschnitte zeigen, betheiligen sich daran alle Gewebe, Rinde, Epidermis und Fibrovasalkörper, wahrscheinlich auch die Säule der Wurzelhaube. Da die Richtung des Auswachsens nicht mit dem Verlaufe von Zellreihen zusammenfällt, wie an quer abgeschnittenen Wurzeln, so bildet der Callus hier ein ziemlich unregelmässiges Gemenge von Zellen, in welchem auf dem Längsschnitte die Abstammung der Zellen voneinander nicht genau verfolgt werden kann. In den Gefässzellen finden sich Theilungen nach allen Richtungen. Die Callusbildung erstreckt sich ziemlich weit nach oben hin, und es könnte anfänglich befremdend erscheinen, dass sie viel weiter hinaufreicht, als die Entwicklungsfähigkeit entsprechender Querzonen an querabgeschnittenen Wurzeln. Man darf jedoch nicht vergessen, dass ja die Wurzelhälfte während der Callusbildung erheblich in die Länge gewachsen ist und der Callus offenbar mitgewachsen ist; so kommt das Verhältniss zu Stande, dass der von einer jungen Partie der Wundfläche erzeugte Callus nach 24 Stunden an ein ziemlich altes Gewebe angrenzt. Weiter oben findet sich eine Region, wo sowohl die Epidermis sammt den äusseren Rindenschichten, als auch der Fibrovasalkörper weiter hervorgewachsen sind, als die inneren Rindenschichten. Noch weiter oben ist überhaupt keine Veränderung an der Schnittfläche eingetreten.

Im weiteren Verlaufe macht sich in dem untersten Theile des Callus nahe der Spitze eine ziemlich weit aussen gelegene Zone bemerkbar, in welcher vorzugsweise tangentiale Längstheilungen stattfinden. Diese Zone nimmt gegen den Scheitel hin Curvenform an und lässt sich in entschiedenster Weise als correspondirendes Gebilde der älteren Rindenschichte erkennen. Bis zum nächsten Tage hatte sie auch wirklich den Charakter der Rinde angenommen durch Entstehung lufthaltiger Intercellularräume und Quertheilungen in den Zellen. Ausserhalb dieser Zone hat sich eine Längsreihe von Epidermiszellen constituirt, die anfänglich noch isodiametrisch sich bald häufiger quertheilen und ihre Aussenwände verdicken. Auch sie verläuft gegen den Scheitel bogig und erfährt ihre Ausbildung

von oben herab gegen den Scheitel zu fortschreitend. Alles was ausserhalb dieser Reihe, die sich bald bis an den Scheitel hin verfolgen lässt, liegt, wird nach Art einer Wurzelhaube abgestossen. Der innerhalb jener Rindenzone gelegene Theil des Callus schliesst sich in seiner Ausbildung an das Fibrovasalgewebe an; doch erfolgen die Zelltheilungen anfänglich nach den verschiedensten Richtungen und sehr rasch aufeinander; die vollständige Erreichung des normalen Charakters nimmt hier längere Zeit in Anspruch.

Weiter oben erfolgt keine vollständige Rindenbildung mehr, sondern der Callus schliesst sich nach aussen nur durch eine Zellschicht ab, welche durch die verdickten Aussenwände einige Aehnlichkeit mit der Epidermis erhält. — Noch weiter oben endlich, wo keine Callusbildung mehr eingetreten war, wird ein Abschluss des an die Wundfläche grenzenden Gewebes nach aussen lediglich durch starke Verdickung der nach aussen hin vorgewölbten Zellwände erreicht. Bemerkenswerth ist die Thatsache, dass diese Verdickung der freien Zellwände häufig, besonders an den inneren Rindenzellen eine ungleichmässige ist und sich in der Bildung von nach aussen vorspringenden Knötchen ausspricht. Diese Knötchen bestehen, wie die Reactionen und die Beobachtung im polarisirten Licht zeigen, aus Cellulose. Aehnliche nach aussen vorspringende Verdickungen freier Zellwände beobachtete ich auch an anderen Wundflächen.

Die so aus einer Längshälfte regenerirende Wurzel besitzt nicht den normalen Bau in ihrer ganzen Längsausdehnung, da ein Zwischenstück den Charakter der Längshälfte vollständig beibehalten hat. Es schliessen sich daher auch die einzelnen Gewebe- und Zellformen des unten zugewachsenen vollständigen Stückes in der einen Hälfte nicht direct nach oben hin an ihre homologen Gebilde an; in welcher Weise aber ein Anschluss z. B. der Gefässe erreicht wird, habe ich nicht weiter untersucht.

II. *Pisum* und *Vicia*.

Im Allgemeinen ähnlich wie bei der eben geschilderten Maiswurzel verläuft die Regeneration bei den genannten Leguminosen. Das Resultat, dass ein dem ursprünglichen völlig gleichartiger Scheitel gebildet wird, ist für beide, Mais und Leguminosen, das nämliche. Die Verschiedenheiten im normalen Bau zwischen den beiden Classen machen sich in kleinen Abweichungen in den Regenerationsvorgängen geltend.

Der Bau des normalen Vegetationspunktes genannter Leguminosenwurzeln (auch von Phaseolus) ist wesentlich verschieden von dem der Maiswurzel, sowie auch von Helianthus, welch letzterer von Reinke als der Typus sämmtlicher Angiospermenwurzeln betrachtet wird. Den Scheitel der Leguminosenwurzel nimmt ein sehr ausgedehntes zu Längsreihen angeordnetes Meristem ein, in welchem fortwährend Quertheilungen statt-

finden. Ebenso wie nach unten in den centralen Theil der Wurzelhaube, setzt es sich nach oben in den centralen Theil des Fibrovasalkörpers unmittelbar in Längsreihen fort. Die äusseren Schichten des Fibrovasalkörpers, sowie die Rindenzellreihen setzen sich in kurzen Bögen an das Meristem an. Die peripherischen Theile der Wurzelhaube sind von dem Rindengewebe nicht scharf abgesetzt, sondern bilden sich offenbar durch häufige Spaltungen in der Berührungszone beider Gewebe. Eine besondere Epidermis existirt am Scheitel demzufolge nicht, sondern erscheint erst weiter rückwärts als die äusserste, sonst jeder Eigenthümlichkeit entbehrende Zellschichte der nicht mehr von der Wurzelhaube überlagerten Rinde. Wo die peripherischen Theile der Wurzelhaube an die centralen und das Meristem angrenzen, ziehen sich noch einige Zellen vom Charakter der Rindenzellen seitlich am Meristem herab [1]).

Wird der Scheitel möglichst nahe hinter dem Meristem quer abgeschnitten, so erfolgt die Callusbildung wesentlich in der gleichen Weise, wie bei Zea. Eine Differenz tritt dagegen, wie es sich bei der Verschiedenheit des Baues auch nicht anders erwarten lässt, darin hervor, dass hier nicht eine bestimmte Zellenschicht zur Epidermis wird, sondern dass nur eine unbestimmt umgrenzte Zone sich in den verschiedenen Rindenzellreihen herausdifferenzirt, welche im weiteren Verlaufe sich in derselben Weise spaltet, wie die äussersten Rindenschichten der normalen Wurzel. Die Bogentheilungen im Fibrovasalcallus zum Zweck der Rindenbildung sind zwar sicher vorhanden, treten aber nicht so deutlich hervor, da ja überhaupt die Curvenanordnung am Scheitel nur schwach ausgesprochen ist.

Allgemeine Resultate.

Nachdem nun an zwei sehr verschiedenen Angiospermenwurzeln, der Maiswurzel, bei welcher die Differenzirung der einzelnen Systeme am weitesten gegen den Scheitel hinreicht, und den Leguminosenwurzeln, deren Gewebesysteme erst in grösserer Entfernung vom Scheitel sich unterscheiden lassen, nachdem also in diesen beiden extremen Fällen die Regeneration des normalen Vegetationspunktes nachgewiesen ist, darf man wohl nicht anstehen, diese Fähigkeit allen Wurzelspitzen der Angiospermen zuzusprechen. Bei der noch weniger ausgesprochenen Differenzirung der Gymnospermenwurzel erscheint auch für diese Regenerationsfähigkeit als wahrscheinlich. Leider konnte ich aber in Betreff der mit Scheitelzellen ausgestatteten Wurzeln der Gefässkryptogamen zu keinem Resultate gelangen, da die von mir untersuchten Wurzeln (von Equisetum, Marsilia und Asplenium) jedesmal, nachdem die Scheitelzelle hinweggenommen war, abstarben, ohne dass auch nur die bereits angelegten Zellen ihre normale

1) Auch hierin werden meine Beobachtungen von Janzcewski Bot. Zeit. 1874 p. 115 bestätigt.

Ausbildung erreicht hätten. Gerade aus dem letzteren Grunde aber darf deshalb die Regerationsfähigkeit noch nicht als unmöglich betrachtet werden.

Für das Verständniss der Bedeutung des Vegetationspunktes für das Längenwachsthum scheint zunächst die Thatsache von Wichtigkeit zu sein, dass das Längenwachsthum der Wurzel ungestört fortdauert, wenn die bogig angeordneten Zellreihen entfernt sind, wenn nur die noch vorhandenen Zellen noch jung genug sind. Es kann also der Nachschub in Streckung übergehender Zellen auch durch einfache Quertheilung der einzelnen Längsreihen verwickelt werden; es brauchen diese Längsreihen, damit die nöthige Anzahl von Zellen entstehen kann, also nicht in Bogenform und zuletzt durch wenige besonders bevorzugte Zellen, die sogenannten Initialen, abgeschlossen zu sein. Dass aber dennoch im weiteren Verlaufe sich eine derartige Anordnung wiederherstellt, dürfte vielleicht auf eine Abhängigkeit des Scheitels vom Längenwachsthum, auf einen mechanischen Einfluss der wachsenden Zellen auf die Anordnung am Scheitel hindeuten.

Die sich neu bildenden Gewebesysteme entstammen nicht ausschliesslich den gleichnamigen Systemen des verletzten Stückes, sondern bilden sich ohne Rücksicht auf die Abstammung der hiezu verwendeten Zellen nur in Beziehung zum Aufbau des Regenerationsproductes. Es wird der Uebergang der Systeme ineinander allerdings durch die Zwischenbildung eines Callus vermittelt, in welchem selbst eine Verschiedenheit der Systeme nicht hervortritt; allein derselbe steht noch, besonders durch die anfänglich unverwischte Fortsetzung der Längsreihen in so engem Zusammenhang mit den ihn erzeugenden Geweben, dass die Abstammung jeder einzelnen Calluszelle evident ist so lange bis sie einen bestimmten Charakter im Regenerationsproducte annimmt.

Bei der vollkommenen Regeneration bildet sich die neue Epidermis aus der früheren Epidermis, dem Rindengewebe und dem Fibrovasalkörper, das Rindengewebe aus dem früheren Rindengewebe und dem Fibrovasalkörper. Nur der Fibrovasalkörper ist seiner centralen Lage zufolge gleichnamigen Ursprungs. Der späterhin bleibende Theil der Wurzelhaube entstammt beim Mais dem Fibrovasalkörper, bei den Leguminosen auch der Rinde entsprechend seinem auch am normalen Scheitel zweifachen Ursprung.

Bei der procambialen Regeneration entstehen, wie erwähnt, alle neuen Systeme aus dem Fibrovasalkörper.

Es zeigt sich also, dass der Begriff der Gewebesysteme kein so starrer, absoluter ist, wie man ihn insbesondere in neuerer Zeit in Folge der Untersuchungen an Embryonen zu fassen gewohnt war. Mag man über die Berechtigung der Annahme eines besonderen Dermatogens, Periblems und Pleroms am normalen Scheitel denken, was man will, hier, an der regenerirenden Wurzelspitze, giebt es weder Dermatogen, noch Periblem,

noch Plerom, und doch entwickeln sich Epidermis, Rinde, Fibrovasalkörper und Wurzelhaube. Erst im letzten Momente der Wiederherstellung des normalen Scheitels erscheinen wieder jene Theile des Urmeristems, welche sich an die drei Systeme geometrisch anschliessen, ohne jedoch schon deren Ausbildung zu besitzen, vorausgesetzt dass das Urmeristem überhaupt in solche Theile differenzirt ist und nicht, wie bei den Leguminosen, homogen.

Sehen wir uns endlich nach analogen Erscheinungen um, mit welchen wir die hier constatirte Neubildung des Wurzelscheitels vergleichen könnten, so denken wir zunächst an die Bildung der Nebenwurzeln im Pericambium.

Dort entwickeln sich alle Systeme aus einer einzigen, einem bestimmten Systeme angehörigen Zellschichte, also auch nicht aus den gleichnamigen Systemen der Mutterwurzel. Allein es bestehen zwischen den beiden Vorgängen wesentliche Verschiedenheiten; dort handelt es sich um die Bildung eines neuen Gliedes, die vollständige Neuentwicklung der Gewebesysteme.

Dort ist die Neubildung eine centrifugale; zuerst bildet sich der neue Scheitel, an welchen sich späterhin die weiteren Gewebe anschliessen, vielleicht aus ihm hervorgehen. Hier dagegen ist die Bildung centripetal: zuerst entstehen die vom Scheitel entferntesten Gewebe und erst zuletzt wird der Scheitel selbst gleichsam eingesetzt.

Gerade wegen dieses letzteren Umstandes bietet die Regeneration mehr Aehnlichkeit mit der ersten Anlage der Wurzel im Embryo. Dort ist es eine mehr oder minder (letzteres namentlich bei den Gräsern) regelmässig angeordnete Gewebemasse, in welcher sich durch zweckmässige Theilungen die Gewebe differenziren, in welcher ebenfalls der Scheitel zuletzt zur Ausbildung gelangt.

Eine bedeutungsvolle Analogie bietet die Regeneration mit den Neubildungen in Callusgeweben, unter welchen sie einen speciellen Fall darstellt.

Als Callus bezeichnet man überhaupt Gewebecomplexe, welche in Folge von Verletzungen durch Hervorwachsen der an die Wundflächen angrenzenden Gewebeschichten entstehen. Der Charakter der betheiligten Gewebeformen geht im Callus selbst meist verloren.

Regelmässig treten im Callus Neubildungen auf; es constituirt sich nahe unter der Oberfläche (seltener an der Oberfläche) ein Meristem, d. h. ein Gewebe, dessen Zellen sich derart theilen, dass ein Theil der producirten Zellen in Dauergewebe übergeht, ein anderer im Theilungszustand verbleibt. Der einfachste Fall dieser Art ist die Wundkorkbildung; es differenzirt sich im Callus eher oder später ein Phellogen, ein Meristem, welches nach aussen Korkzellen erzeugt. Diejenigen Fälle, in welchen die Korkbildung von der Oberfläche des Callus entfernt eintritt, lassen sich

mit der Abscheidung der Epidermis im Callus der Wurzel vergleichen. In beiden Fällen wird hiedurch die rückwärts gelegene Partie des Callus abgeschlossen, die äussere wird entfernt, in unserem Falle als provisorische Wurzelhaube. Der innere abgeschlossene Theil folgt den Gestaltungsgesetzen, welche den Zellen in Folge ihrer Abstammung innewohnen; während es an Wundflächen von Stämmen mit Dickenwachsthum zur Entstehung eines Cambiums kommt, welches ähnliche Producte liefert, wie das normale, bildet sich hier ein Urmeristem, welches vollständig die Rolle des normalen übernimmt.

XVIII.

Haben Temperaturschwankungen als solche einen ungünstigen Einfluss auf das Wachsthum?

Von

Dr. R. Pedersen.

Die Frage über die Bedeutung der Temperaturschwankungen für das Pflanzenwachsthum hat bis jetzt nur eine einzige experimentelle Beantwortung gefunden, nämlich von Köppen[1]) (1870), welcher der Temperaturveränderung an und für sich einen verzögernden oder einen stark schädigenden Einfluss auf das Wachsthum zuschreibt (l. c. p. 7 und 20), indem nach ihm »während der Temperaturänderung das Wachsthum langsamer vor sich geht, als bei gleicher constanter Temperatur« (l. c. p. 22). Diese Anschauung scheint im Allgemeinen von den Pflanzenphysiologen adoptirt zu sein; doch hat Sachs[2]) (1872) gelegentlich Zweifel über deren Richtigkeit geäussert. Bei seinen Untersuchungen über den Einfluss der Lufttemperatur und des Tageslichtes auf die stündlichen und täglichen Aenderungen des Längenwachsthums der Internodien zeigt er, »dass zur Zeit der stärkeren Wachsthumsfähigkeit der Pflanzen (in der Mitte der grossen Periode) Temperaturschwankungen von einem bis einigen Graden in der Stunde das Wachsthum mächtig verändern, und zwar so, dass dem Steigen der Temperatur ein Steigen, dem Fallen der Temperatur ein Fallen der Zuwachse entspricht«. Und hieraus folgert er: »Jedenfalls erleidet hierdurch die Angabe Köppen's, wonach Temperaturschwankungen an sich das Wachsthum verlangsamen, eine Einschränkung; denn dieser Satz im weiteren Sinne genommen, würde verlangen, dass einer Temperatursteigerung ein gleich-

---

1) Köppen: Wärme und Pflanzenwachsthum. Bul. de la soc. imp. des naturalistes de Moscou 1870.

2) Sachs: Arbeiten d. bot. Instituts in Würzburg. Heft II. 1872. p. 164.

zeitiges Fallen der Zuwachscurve entspreche, was nicht der Fall ist.« Ja, wenn die Angabe Köppen's richtig wäre, so wäre es ein Wunder, dass ausgiebiges Wachsthum in der Natur überhaupt möglich ist, da constante Temperaturen im gewöhnlichen Lauf der Dinge strenggenommen nicht existiren. Bei diesen Zweifeln schien es gerathen, die Frage einer neuen sorgfältigen Prüfung zu unterwerfen; nach Aufforderung des Herrn Prof. Schenk hatte ich schon in Leipzig einige darauf bezügliche Beobachtungen, welche der Annahme Köppen's wenig entsprachen, gemacht; noch entschiedener zu Ungunsten des Letzteren gestaltete sich eine sehr ausführliche Untersuchungsreihe, welche ich im Würzburger Laboratorium ausgeführt habe.

Köppen hat seine Anschauung theils auf sogenannte »phaenologische« Data, theils auf Experimente basirt. Was diese phaenologischen Beobachtungen betrifft, so soll denselben zwar ihr etwaiger Werth in anderer Richtung nicht abgesprochen werden; dass sie jedoch für die Beantwortung pflanzenphysiologischer Fragen werthlos sind, ist schon wiederholt ausgesprochen worden und liegt in der Natur der Sache. Ich lege daher den phänologischen Theil von Köppen's Abhandlung bei Seite und gehe auf den experimentellen Theil derselben ein, der mir jedoch in mehr als einer Richtung zu schweren Bedenken Anlass giebt.

1. Köppen hat mit kranken Pflanzen experimentirt. Dass dieses der Fall gewesen, sieht man aus seiner Angabe (l. c. p. 13), dass von den zu jedem Versuche verwendeten Samen nur die Hälfte, höchstens drei Viertel gekeimt haben, und dass unter den Keimpflanzen sehr häufig mehrere so schlecht entwickelt waren, dass er bei Berechnung der Mittelzahlen keine Rücksicht auf diese »offenbar abnormen Exemplare« (l. c. p. 11) nehmen zu dürfen glaubte. Mehrere ihm unerklärbare Vorkommnisse bei seinen Versuchen werden hierdurch leicht verständlich, z. B. dass er (l. c. p. 10) in einem Versuch bei 28,4° constanter Temperatur in 48 Stunden einen Zuwachs von 22,4 mm bei der Lupinenwurzel, und 23 mm bei der Erbsenwurzel findet, während er in gleicher Zeit bei einer ebenso constanten Temperatur von 28,5° einen Zuwachs von 50,1 mm bei der Lupinenwurzel und einen Zuwachs von 40 mm bei der Erbsenwurzel findet.

Die Ursache der Erkrankung seiner Versuchskeimpflanzen war offenbar die, dass er einen allzu feuchten, nicht ordentlich durchlüfteten, ja bisweilen einen in Fäulniss begriffenen Keimboden, nämlich ein Gemisch von Sand und Sägespänen verwendete. Diese Mischung sättigte er »bei Beginn des Versuchs mit Wasser (l. c. p. 4). Er selbst sagt: »wohl möglich, dass für manche Samen ein weniger feuchter Boden zuträglicher gewesen wäre«; er meint aber, dass dieser der einzige Weg sei, auf dem gleichförmige Feuchtigkeitsbedingungen sich zu Wege bringen lassen, und ebenso, dass zur Vermeidung von Temperaturschwankungen eine spärliche

Durchlüftung des Bodens nothwendig sei. Dass er wirklich bisweilen faule Sägespäne verwendete, folgt aus seiner Aeusserung: »dagegen glaube ich jetzt, dass die langsame Fäulniss der Sägespäne dieselben für derartige Versuche ganz unpassend macht« (l. c. p. 5), und ferner daraus, dass er als Hauptursache der »Widersprüche zwischen scheinbar unter ganz gleichen Umständen angestellten Experimenten« — »den Uebelstand des Faulens der Sägespäne« angiebt (l. c. p. 8).

2. Köppen hat bei den meisten seiner Versuche Temperaturen über dem Optimum, ja bisweilen über dem Maximum verwendet. Da jede Temperatur über dem Optimum für die Pflanze schädlich ist und desto schädlicher, je näher an dem Maximum und je feuchter der Boden ist, so versteht es sich von selbst, dass seine Versuchspflanzen krank und schlecht wachsende waren, ja bisweilen sind vielleicht die Pflanzen dadurch getödtet worden. Dieses war wahrscheinlich der Fall in der Versuchsreihe mit Sinapis, Lepidium, Linum und Convolvulus (l. c. p. 23); obgleich das Optimum für diese Pflanzen 27° C. ist, wurde doch zweimal täglich die Temperatur bis 37° erhöht, welche Temperatur das Maximum für Lepidium und wahrscheinlich auch für die anderen Pflanzen ist oder demselben doch nahe liegt. Kein Wunder also, dass Pflanzen, welche eine solche Behandlung erfuhren, schwächer wuchsen als andere, welche die ganze Zeit hindurch sich in 23,5° C. befanden, und dass er in zwei anderen parallelen Versuchen, wo die Temperatur nicht über 25° ging, das ganz entgegengesetzte Resultat erhielt. In seinen Versuchen No. 7, 9 und 15 sind die Pflanzen bei respective 40°, 35° und 36,19° gewachsen, also ebenfalls in Temperaturen, welche bedeutend über dem Optimum und in der Nähe des Maximums liegen.

Ueberhaupt leuchtet von selbst ein, dass bei Versuchen, welche unsere Frage beantworten sollen, nur solche Temperaturen verwendet werden dürfen, welche unterhalb des Optimums liegen. Denn da jede oberhalb des Optimums liegende Temperatur um so ungünstiger wirkt, je höher sie liegt, so folgt, dass bei derartigen Versuchen das Auftreten von Temperaturen oberhalb des Optimums den Gang des Wachsthums nothwendig verlangsamen muss, und dass auf diese Weise gefundene Verminderung der Wachsthumsgeschwindigkeit, nicht einen schädlichen Einfluss der Schwankung nützlicher Temperaturen zugeschrieben werden darf.

Unter den Köppen'schen Versuchsreihen (l. c. p. 18) finde ich nur zwei: die bei 14° (No. 1, 2) und die bei 16°—17° (No. 3—6), welche nicht an diesem Fehler leiden, und nicht alle Versuche in diesen Reihen sprechen für seine Theorie; eigentlich nur zwei Versuche, der eine mit Lupine, der andere mit Erbse bei 14° angestellt (No. 12).

Aber weder diese zwei Versuche, noch der mit Erbsen in 144 Stunden angestellte Hauptversuch (l. c. p. 18) sprechen mit Nothwendigkeit

für seine Theorie, selbst wenn diese Versuche in allen anderen Beziehungen fehlerfrei wären.

3. Köppen hat bei der Berechnung der Mitteltemperaturen die Dauer der einzelnen Temperaturdaten nicht berücksichtigt und in Folge dessen sind die von ihm als Mitteltemperaturen bezeichneten Zahlen nicht die wahren, für die Versuchspflanzen gültigen Mitteltemperaturen. Auf die Zeitdauer, worin die verschiedenen Temperaturen eingewirkt haben, hat er überhaupt nicht Rücksicht genommen, wie aus seinem Schweigen darüber zu schliessen ist, namentlich fällt auf, dass er bei den Versuchen, welche durch Ueberbringen der Pflanzen in Räume von höheren constanten Temperaturen angestellt worden sind, über die Dauer der letzteren schweigt. Bei Versuchen mit schwankender Temperatur kommt es gerade auf die Mitteltemperatur der Zeitintervalle an und nicht auf die Mitteltemperatur der Zeitpunkte, welche keinen wahren Ausdruck für die bei dem Versuch einwirkende Wärme giebt.

Schlechterdings unbegreiflich ist mir, was Köppen mit dem hier folgenden Satze sagen wollte: »Waren die mittleren Temperaturen der beiden Versuchstage etwas verschieden, so gab ich bei Berechnung des Mittels der Temperatur des zweiten Tages einen höheren Werth, als der des ersten, je nach dem Gange der Temperatur im Verhältniss von 5 zu 3 oder von 2 zu 1.«

Da er keine Detailangaben über den Gang der Temperatur bei seinen Versuchen anführt, ist es leider auch mir unmöglich, die wahren Mitteltemperaturen seiner Versuche zu berechnen.

4. Köppen hat nicht hinlänglich Rücksicht auf die individuellen Verschiedenheiten der Versuchspflanzen genommen. Bei seiner Methode zu experimentiren, konnte er diese Fehlerquelle nur »durch Anwendung sehr vieler Exemplare« eliminiren; statt dessen sind seine Versuche an Lupine, Erbse und Mais mit 3, höchstens 7 Pflanzen, und an Saubohnen mit 2, höchstens 6 Exemplaren thatsächlich angestellt, da von der »Normalzahl« der Versuchssamen (5—10) nur die Hälfte oder drei Viertel keimten. Da Detailangaben fehlen, kann man nicht sehen, wie viele und welche von seinen Versuchen mit bloss 2 oder 3 Exemplaren angestellt sind, um so ein Urtheil über den relativen Werth der einzelnen Versuche zu gewinnen.

Aus diesen Angaben wird der urtheilsfähige Leser hinreichend ersehen, welcher Werth den Köppen'schen Angaben beizumessen ist.

Eigene Untersuchungen.

Da bei Untersuchungen über die Bedeutung der Temperaturschwankungen für das Wachsthum Keimwurzeln die zweckmässigsten und bequemsten Versuchsobjecte sind, so habe ich bei meinen Untersuchungen bloss Keimwurzeln verwendet. Selbstverständlich, und wie ich in meiner Kritik Köppen's bereits angedeutet habe, kann ein reines Versuchsresultat nur erreicht werden durch Anwendung von an und für sich dem Wurzelwachsthum nützlichen Temperaturen, also Temperaturen, die nicht über der Optimaltemperatur und nicht zu nahe an der Minimaltemperatur des Versuchsobjectes liegen. Die Frage, welche ich experimentell beantworten will, kann folglich so formulirt werden:

> Ist der Zuwachs, welchen eine Wurzel in schwankenden, für sie nützlichen Temperaturen erreicht, verschieden von dem Zuwachs, welchen sie in ebenso langer Zeit in der entsprechenden constanten Mitteltemperatur erreichen würde?

Untersuchungsmethode im Allgemeinen und Fehlerquellen.

Alle meine Versuche sind mit Keimpflanzen von Vicia Faba ausgeführt. Um die individuellen Verschiedenheiten zu verkleinern, wurden bei jedem Versuche gute Samen von derselben Grösse ausgesucht. Diese wurden eingeweicht und in Sägespänen auf die von Sachs (Arbeiten d. bot. Instit. in Würzb. p. 386) angegebene Weise zum Keimen gebracht. Von den Keimpflanzen wurde wieder, um die individuellen Verschiedenheiten noch mehr zu zermindern, eine Auswahl der am besten und gleichmässigsten entwickelten getroffen, so dass zu den correspondirenden Versuchen Keimpflanzen von entsprechendem Entwicklungsgrade und möglichst gleicher Entwicklungsfähigkeit verwendet worden sind.

Da es von Wichtigkeit ist, die Feuchtigkeitsbedingungen constant zu halten, liegt es nahe, Wassercultur zu verwenden. Fast alle meine Versuche sind deshalb durch Wassercultur ausgeführt und zwar nach der von Sachs l. c. p. 387 beschriebenen Methode. Die Keimpflanzen werden auf lange Nadeln gesteckt und an Korkplatten, welche in den Deckeln grosser, theilweise mit Wasser gefüllter Cylindergläser eingelegt sind, so befestigt, dass die Keimblätter über dem Wasser in der feuchten Luft sich befinden.

Auch habe ich Versuche in Erde nach der von Sachs l. c. p. 388 angegebenen Methode angestellt. Zu diesen habe ich einen Zinkkasten mit schrägen, wasserdicht eingekitteten Wänden von dünnem Glas, hinter

welchem die Wurzeln sich beobachten lassen, und mit nicht durchlöcherten metallenen Seitenwänden verwendet.

Diese beiden Culturmethoden haben die Vortheile, dass die Feuchtigkeitsbedingungen für alle Pflanzen dieselben sind, und dass man den Zuwachs, welchen jede einzelne Wurzel erreicht hat, bestimmen kann. Die Erdcultur hat den Nachtheil, dass sie bei den Versuchen, wo man eine plötzliche, momentane Temperaturänderung haben will, nicht verwendbar ist, dass man nicht gut mit vielen Pflanzen auf ein Mal experimentiren kann und dass eine gleich zu erwähnende Fehlerquelle bei den Messungen sich geltend macht.

Um bei den Messungen einen festen Ausgangspunkt zu haben, wird bei den Wasserculturversuchen eine Tuschmarke 20 Millimeter von der Wurzelspitze beim Anfange des Versuchs angebracht. Die Länge der wachsenden Region der Fabawurzel erreicht niemals 20 mm, so dass der Zuwachs dieses Stücks der Zuwachs der ganzen Wurzel ist. Die Anbringung der Marke und die Messung geschieht wie l. c. p. 399 beschrieben. Bei den Erdculturversuchen wurde als Ausgangspunkt der Messsungen auf der Glaswand, der Wurzelspitze gegenüber, beim Anfange des Versuchs eine Marke mit Asphaltlack angebracht. Um die Fehler des Absehens bei der Anbringung der Marke und bei den Messungen zu vermindern, muss man möglichst dünne Glasplatten an dem Erdkasten verwenden.

Da ich bei vorläufigen Versuchen fand, dass die Optimaltemperatur nicht unter 27° C. (21,6° R.) liegt, so ist 27° C. die höchste Temperatur, die ich bei meinen Versuchen verwende. Die niedrigste Temperatur, die ich verwendet habe, ist 12,5 C. (10° R.). Wie ich die Temperaturschwankungen vornahm, werde ich bei der Beschreibung der Versuche angeben.

Bei der Berechnung der Mitteltemperaturen muss, wie ich oben angedeutet habe, Rücksicht auf die Zeitdauer der Einwirkung der verschiedenen Temperaturen genommen werden. Ist die Temperatur $a_1{}^{\circ}$ am Anfang und $b_1{}^{\circ}$ am Ende des ersten Zeitintervalles i_1 und $a_2{}^{\circ}$ am Anfang und $b_2{}^{\circ}$ am Ende des zweiten Zeitintervalles i_2 u. s. w., so ist die Formel, nach welcher die Mitteltemperatur t des ganzen Zeitraumes berechnet werden muss, folgende:

$$t = \frac{\frac{1}{2}\,(a_1{}^{\circ}+b_1{}^{\circ})\;i_1+\frac{1}{2}\;(a_2{}^{\circ}+b_2{}^{\circ})\,i_2+\;\cdots\;+\frac{1}{2}\;(a_p{}^{\circ}+b_p)\,i_p}{i_1+i_2+\cdots+i_p} \qquad (1)$$

Sind die Zeitintervalle gleich gross ($i_1 = i_2 = i_p$), das heisst: sind die Temperaturbeobachtungen äquidistante, so nimmt diese Formel die folgende einfachere Form an:

$$t = \frac{\frac{1}{2}\,(a_1{}^{\circ}+b_1{}^{\circ})\;+\;\frac{1}{2}\,(a_2{}^{\circ}+b_2{}^{\circ})\;+\;\cdots\;\frac{1}{2}\;(a_p{}^{\circ}+b_p{}^{\circ})}{p} \qquad (2)$$

Nach dieser Formel sind die mittleren Temperaturen in meiner ersten Versuchsreihe berechnet.

Sind die Temperaturbeobachtungen äquividistante und die Schlusstemperatur jedes Zeitintervalles gleich der Anfangstemperatur des nachfolgenden Zeitintervalles ($b_1 = a_2$, $b_2 = a_3$, $b_p = a_{p+1}$), wird die Formel (2) noch einfacher nämlich:

$$t = \frac{\frac{1}{2}(a_1{}^{0} + a_2{}^{0}) + \frac{1}{2}(a_2{}^{0} + a_3{}^{0}) + \cdots \frac{1}{2}(a_p{}^{0} + a_{p+1})}{p} \qquad (3)$$

Nach dieser Formel sind die mittleren Temperaturen in der zweiten Versuchsreihe berechnet.

In Bezug auf die Fehlerquelle, welche daher rühren könnte, dass die Versuchswurzeln in verschiedenen *Phasen der grossen Wachsthumsperiode* sich befänden, bemerke ich, dass kein Versuch angefangen wurde, bevor die Wurzeln in dem neuen Wachsthumsmedium (Wasser, Erde) in kräftigen und schnellen Wuchs gekommen waren, so dass die Wurzeln nicht im Anfange der grossen Wachsthumscurve, aber noch in deren aufsteigendem Zweig sich befanden. Nun ist aber bei Wurzeln die grosse Wachsthumscurve viel flacher, viel weniger steil als bei Stengeln (weitere Untersuchungen behalte ich mir vor), und folglich ist, wenn der Anfang und das Ende der grossen Periode ausgeschlossen werden, die Phasendifferenz der grossen Periode bei Wurzeln unbedeutend. Für Vicia Faba gilt dieses ganz besonders, wie aus früheren Beobachtungen von Sachs hervorgeht.

Bei der *Berechnung der mittleren Zuwachse* müssen natürlich *alle* die zum Versuche verwendeten *gesunden* Wurzeln in Betracht gezogen werden; wie es unerlaubt ist, gewisse Versuchspflanzen (z. B. die kürzesten oder die längsten oder die mittleren) *willkürlich* zu beseitigen, so ist es auch fehlerhaft, Pflanzen mit *offenbar abnormem* Wachsthum mitaufzunehmen. Es giebt namentlich 4 Fälle, in welchen das Wurzelwachsthum nicht normal ist.

1) *Wenn über der Spitze eine Anschwellung sich bildet* (Arbeit d. bot. Instit. p. 411), wächst die Wurzel mehrere Tage sehr langsam und sehr häufig gar nicht. Eine solche Wurzel muss ganz beseitigt werden.

2) *Wenn die Wurzelhaube verschleimt*, wächst die Wurzel abnorm langsam (l. c. p. 386). Eine solche Wurzel darf man bei der Mittelzahlberechnung nicht mitnehmen. Wird jedoch die Spitze abgetrocknet, so wächst die Wurzel normal weiter.

3) *Wenn die Wurzelspitze sich stark krümmt*, ist das Wachsthum abnorm, bis die Wurzel gerade gestreckt wird.

1) Sachs: Physiol. Untersuch. üb. d. Abhängigkeit d. Keimung von d. Temperatur. Pringsh. Jahrb. II, p. 348. 1860.

4) Wenn die Wurzel nicht die verticale Stellung hat, ist das Wachsthum auch verlangsamt.

Ueberhaupt darf man bei der Berechnung des mittleren Wachsthums keine Wurzel mit hinzunehmen, bei welcher sich eine von der Temperatur unabhängige das Wachsthum beschleunigende oder verzögernde Ursache vorfindet. Jede langsam-wachsende Wurzel als krank und abnorm zu betrachten, bloss deswegen weil sie langsam wächst, wäre aber nicht erlaubt.

Versuche und Resultate.

Die Temperaturänderung kann auf zwei verschiedene Weisen ausgeführt werden; entweder so, dass man die Pflanzen in verschiedenen constanten Temperaturen mit plötzlichem Wechsel derselben wachsen lässt, oder so, dass die Temperaturschwankung continuirlich ist, die Temperatur in jedem Augenblick eine andere wird.

a. Erste Versuchsreihe: Plötzlicher Wechsel zwischen zwei constanten Temperaturen. (Versuch 1—7.)

Diese Versuchsreihe wurde mit Hilfe von Wassercultur ausgeführt, wie oben beschrieben. In einem der Cylindergläser wurde das Wasser auf 10° Reaumur, in einem anderen auf 15° R. und in einem dritten auf 20° R. constant gehalten. Eine Partie der Pflanzen wuchs die ganze Versuchsdauer, 6 Stunden, in dem Wasser von 15° R., eine andere Partie aber abwechselnd in dem Wasser von 10° R. und von 20° R. Das Wechseln wurde ausgeführt, entweder stündlich (Versuch 1), oder halbstündlich (Vers. 2, 3, 5, 6, 7) oder viertelstündlich (Vers. 4) durch Vertauschung der Deckel, an welchen die Pflanzen befestigt sind, von einem zu dem anderen Cylinder. Durch Heizung wurde das Wasser auf die höheren Temperaturen gebracht und durch Umwicklung der Gläser mit Watte und Ueberstülpung eines Pappcylinders wurden die Temperaturen constant gehalten, indem das Cylinderglas mit dem zehngradigen Wasser in ein kaltes, die zwei anderen Gläser in ein geheiztes Zimmer gestellt wurden. Bei jedem Wechsel wurde die Temperatur an kleinen von den Deckeln ins Wasser herunterhängenden Thermometern beobachtet, so dass man die Anfangs und Schlusstemperatur jedes Zeitintervalles notirte. In keinem Falle hat die Differenz zwischem Maximum und Minimum in einem Glas ½° R. überschritten. Da bei dem Wechseln die Wurzeln einen Augenblick aus dem Wasser gehoben wurden und sich in der Luft befanden, und man a priori nicht wissen kann, ob dadurch ein Einfluss auf das Wachsthum ausgeübt wird, so wurden bei jedem Wechsel auch die Wurzeln, welche in dem Wasser von constanter mittlerer Temperatur wuchsen, einen Augenblick aus dem Wasser gehoben. Hierdurch erreicht man auch eine Erneuerung

der im Glase eingeschlossenen Luft, die zu einem gesunden Wachsthum beiträgt.

Bei der Wahl von 6 Stunden als Versuchsdauer ist die Rücksicht geltend gewesen, dass, je kürzer die Zeit, desto leichter die Temperatur constant gehalten werden kann, und desto leichter man zufälligen Störungen entgeht; auf der anderen Seite aber muss die Versuchsdauer auch so lang sein, dass die Zuwachse nicht zu klein im Vergleich mit den eventuellen Messungsfehlern werden.

Wenn der Versuch zu Ende ist, werden die Pflanzen alle in Wasser von derselben niedrigen Temperatur gestellt, um das Wachsthum während der Zeit der Messung zu hindern. Ein stärkeres Wachsthum in der Zeit, welche zur Messung nöthig ist, würde kleine Ungenauigkeiten veranlassen. Darum müssen die Messungen auch schnell ausgeführt werden, und so, dass abwechselnd eine Wurzel jeder Partie gemessen wird. Um jedoch Schnelligkeit in der Messung zu erreichen, darf man sich nicht dazu verleiten lassen, alle Pflanzen gleich auf ein Mal aus den Cylindern zu nehmen, denn die durch Austrocknung bewirkte Verkürzung der Wurzeln würde zu namhaften Messungsfehlern (Sachs l. c. p. 395) führen.

Die Versuche 2, 3 und 4 sind mit denselben Versuchspflanzen ausgeführt, die Pflanzen wurden aber bei jedem Versuch so umgetauscht, dass die, welche in Versuch 2 in constanter Temperatur wuchsen, in Versuch 3 in variabler und in Versuch 4 wieder in constanter Temperatur blieben. Auf ähnliche Weise sind die Versuche 5, 6 und 7 ausgeführt. Durch diese Umtauschung der Versuchspflanzen wird der Einfluss der individuellen Verschiedenheiten controllirt und geschwächt.

Das Versuchsresultat ersieht man aus folgender Uebersicht, in welcher V den Zuwachs, welcher in 6 Stunden bei wechselnder Temperatur erreicht worden ist, und K den in constanter Temperatur erreichten Zuwachs bezeichnet. Die eingeklammerten Zahlen geben die Anzahl der Exemplare an, aus denen die nebenstehenden Zuwachse (in Millimetern) gewonnen sind.

	Vers. 1.	Vers. 2.	Vers. 3.	Vers. 4.	Vers. 5.	Vers. 6.	Vers. 7.
$V^{20°-10° R.}$ =	4,2 (8)	4,0 (7)	2,9 (7)	3,1 (8)	4,6 (10)	4,6 (10)	4,5 (9)
$K^{15° R.}$ =	3,6 (9)	3,1 (7)	2,8 (7)	2,9 (7)	3,6 (10)	4,4 (11)	3,4 (10)

Berechnet man das Mittel von allen Versuchen, so hat man:

$$V = 4{,}0^{mm}$$
$$K = 3{,}4^{mm} \qquad V : K = 117{,}6 : 100$$
$$\text{und } V - K = 0{,}6^{mm}$$

Demnach ist:

Der Zuwachs, welchen eine Wurzel bei plötzlichem Wechsel zwischen verschiedenen nützlichen, con-

stanten Temperaturen erreicht, nicht kleiner, sondern grösser als der Zuwachs, welchen sie in gleicher Zeit bei der entsprechenden constanten Mitteltemperatur erreicht.

b. Zweite Versuchsreihe: Versuche mit continuirlichen Temperaturänderungen (Versuch 8—15).

Bei dieser Versuchsreihe ist die Temperatur immer in Veränderung gewesen. Die Versuche sind theils mit Wassercultur (Vers. 8—12), theils mit Erdecultur (Vers. 13 — 15) angestellt und auf verschiedene Weise variirt.

1. (Vers. 8.) Eine Partie Pflanzen wurde in eine niedere constante Temperatur gestellt; eine andere Partie in Wasser von einer höheren Temperatur gebracht und in ein kaltes Zimmer gestellt. Die Temperatur des Wassers nahm hier continuirlich ab. Bei jeder Thermometerbeobachtung berechnet man, wie gross nun die mittlere Temperatur ist, und der Versuch wird in dem Augenblick abgebrochen, wo die berechnete Mitteltemperatur gleich ist der constanten Temperatur, in welcher die anderen Pflanzen verweilt haben. (Vers. 8).

2. (Vers. 9.) Die Pflanzen wurden in Wasser von einer Temperatur nahe der Optimaltemperatur gebracht und in ein kaltes Zimmer gestellt. Wenn die continuirliche Abkühlung des Wassers im Begriff war aufzuhören, wurden die Pflanzen plötzlich in Wasser von einer höheren Temperatur gebracht und dann wieder continuirlich abgekühlt. Wenn der Versuch 12 Stunden gedauert, werden die Pflanzen in Wasser von der entsprechenden mittleren Temperatur gestellt, die Zuwachse gemessen und dieselben Pflanzen in den nachfolgenden 12 Stunden in der constanten Mitteltemperatur gehalten.

3. (Vers. 10—15.) Die Temperatur des Mediums (Wasser oder Erde), in welchem die Pflanzen sich befanden, wurde abwechselnd in continuirliches Steigen und Fallen gebracht, dadurch dass das Gefäss (Glas oder Zinkkasten), in welchem die Pflanzen wuchsen, abwechselnd in Wasser von höherer und niederer Temperatur gestellt wurde. Am Ende des Versuches wurden die Messungen vorgenommen und dieselben Pflanzen in die constante mittlere Temperatur gebracht. Die Versuche mit Erdecultur werden am besten abgebrochen zu einem Zeitpunkt, wo die Temperatur der Erde nicht sehr verschieden ist von der berechneten Mitteltemperatur.

Die Temperaturbeobachtungen sind bei allen diesen Versuchen mit Ausnahme von Vers. 8 viertelstündliche gewesen, auf Coordinatenpapier gleich eingetragen und die Temperaturcurve construirt worden, wodurch der ganze Gang der Temperaturänderung übersichtlich wurde. Der Versuch kann dann auch leicht so eingerichtet werden, dass einige Regelmässigkeit und Symmetrie in die Temperaturcurve kommen und dadurch die berechnete mittlere Temperatur ein besserer Ausdruck für die den Pflanzen zugeführte Wärme als sonst wird.

In allen diesen Versuchen mit Ausnahme von Vers. 8 ist der bei constanter Temperatur ausgeführte Controlversuch mit denselben Pflanzen wie der bei schwankender Temperatur ausgeführte Versuch vorgenommen. Nach dem, was ich oben (p. 569) über die Phasendifferenz ausgeführt habe, ist dieses Verfahren nicht bloss erlaubt, sondern gerade ein sehr gutes Mittel, um den Einfluss der individuellen Verschiedenheiten zu vermindern. Da der Controlversuch immer später als der bei schwankender Temperatur ausgeführte Versuch vorgenommen werden musste, so kommt ein eventuell von dem Phasenunterschied herrührender Vortheil in jedem Falle dem bei constanter Temperatur ausgeführten Versuche zu Gute.

Um den Gang der Temperatur, bei welchem die Zuwachse erreicht worden sind, übersichtlich zu machen, will ich mich folgender Bezeichnungsweise bedienen: $V^{\substack{a\\b}}_{c-d}$ sei die Bezeichnung für den Zuwachs, welcher erreicht ist bei einer mittleren Temperatur von a°, einer mittleren stündlichen Temperaturänderung von b° und einer Schwankung zwischen der Maximumstemperatur von c° und der Minimumstemperatur von d°. Die Zuwachse sind für 6 Stunden berechnet.

1. Zuwachse bei raschem continuirlichem Fallen der Temperatur und bei sehr langsam fallender, wo die mittlere stündliche Aenderung 0,03° Celsius nicht überschreitet, also als constant gelten darf:

Vers. 8.		Vers. 9.		Vers. 12 und 10.	
$V^{19}_{24{,}4-15} = 4{,}2$	(8)	$V^{17{,}8}_{21{,}5-13{,}1} = 4{,}3$	(12)	$K^{\substack{19{,}5\\0{,}3}}_{22{,}17} = 4{,}6$	(6)
$K^{18{,}25} = 3{,}7$	(8)	$K^{\substack{17{,}5\\0{,}03}}_{18-17} = 3{,}6$	(12)	$K^{\substack{19{,}7\\0{,}03}}_{20-19{,}5} = 4{,}2$	(5)
$V : K = 109 : 100.$		$V : K = 119 : 100.$		$V : K = 109 : 100.$	

2. Zuwachse bei abwechselndem starkem Steigen und Fallen der Temperatur und bei sehr langsam fallender, wo die mittlere stündliche Aenderung 0,03° C. nicht überschreitet, also als constante gelten kann:

Vers. 10.		Vers. 13.	
$V^{19{,}9}_{25{,}7-11} = 4{,}5$	(5)	$V^{22{,}5}_{26{,}5-18{,}5} = 6{,}75$	(4)
$K^{\substack{19{,}7\\0{,}03}}_{20-195} = 4{,}2$		$K^{\substack{22{,}75\\0{,}03}}_{23-22{,}5} = 6{,}3$	
$V : K = 107 : 100.$		$V : K = 106 : 110.$	

3. Zuwachse bei abwechselndem starkem Steigen und Fallen der Temperatur und bei sehr langsam fallender Temperatur, wo die mittlere stündliche Aenderung zwischen 0,17° C. und 0,31° C. liegt.

Vers. 11.	Vers. 12.	Vers. 14.
$V^{19,4}_{23,4-15} = 3,9$ (7)	$V^{19,8}_{28-14,5} = 4,6$ (6)	$V^{22}_{27-17,5} = 6,7$ (6)
$K^{18}_{\substack{0,27\\20-16}} = 3,1$	$K^{19,5}_{\substack{0,31\\22-17}} = 4,6$	$K^{22,75}_{\substack{0,17\\24-21,5}} = 6,6$
$V : K = 124 : 100.$	$V : K = 100 : 100.$	$V : K = 102 : 100.$

4. Zuwachse bei continuirlichem langsamem Fallen der Temperatur und bei continuirlichem langsamem Steigen.

Vers. 14 und 15.

$$K^{22,75}_{\substack{0,17\\24-21,5}} = 6,6 \quad (6)$$

$$K^{22,75}_{\substack{0,25\\21,5-24}} = 6,7 \quad (5)$$

$$K : K = 100 : 102.$$

5. Zuwachse bei abwechselndem starkem Steigen und Fallen der Temperatur und bei einem anderen Steigen und Fallen der Temperatur, wo aber die mittlere Temperatur in beiden Fällen dieselbe ist.

Vers. 12 und 10.	Vers. 13 und 14.
$V^{19,8}_{28-14,5} = 4,6$ (6)	$V^{22,5}_{26,5-18,5} = 6,7$ (4)
$V^{19,9}_{25,7-14} = 4,5$ (5)	$V^{22}_{27-17,5} = 6,7$ (6)
$V : V = 101 : 100.$	$V : V = 100 : 100.$

Vergleicht man den Zuwachs, welchen eine und dieselbe Wurzel bei variabler und constanter Temperatur in gleicher Zeit erreicht hat, so geben die Versuche Folgendes:

Vers. 9.	Vers. 10.	Vers. 11.
$V > K$ bei 11 Expl.	$V > K$ bei 5 Expl.	$V > K$ bei 6 Expl.
$V < K$ bei 1 Expl.		$V < K$ bei 3 Expl.

Vers. 12.	Vers. 13.	Vers. 14.
$V = K$ bei 2 Expl.	$V > K$ bei 4 Expl.	$V > K$ bei 3 Expl.
$V < K$ bei 3 Expl.		$V = K$ bei 1 Expl.
		$V < K$ bei 2 Expl.

Im Ganzen ist also:

	(Vers. 12 nicht mitgerechnet.)
$V > K$ bei 29 Expl.	$V > K$ bei 29 Expl.
$V = K$ bei. 3 Expl.	$V = K$ bei 1 Expl.
$V < K$ bei 7 Expl.	$V < K$ bei 4 Expl.

Die Anzahl Fälle, bei welchen $V > K$ war, verhalten sich also zu der Anzahl von Fällen, wo dieses nicht der Fall ist, wie 29 : 10 (corrigirt wie 29 : 5); und die Anzahl Fälle, in welchen $V > K$, verhalten sich zu der Anzahl Fälle, in welchen $V < K$, wie 29 : 7 (corrigirt wie 29 : 4).

Die Anzahl Fälle, in welchen der bei variabler Temperatur erreichte Zuwachs derselben Wurzel grösser ist als der in gleicher Zeit bei der entsprechenden mittleren, constanten Temperatur erreichte, ist wenigstens 3 mal grösser als die Anzahl Fälle, in welchen dieses nicht geschah, und wenigstens 4 mal grösser als die Anzahl Fälle, in welchen der bei variabler Temperatur erreichte Zuwachs kleiner ist, als der in gleicher Zeit bei der entsprechenden mittleren, constanten Temperatur erreichte.

Das Resultat der ganzen Versuchsreihe lässt sich so ausdrücken:

> Der Zuwachs, welchen eine Wurzel bei continuirlichen Schwankungen nützlicher Temperaturen erreicht, ist nicht kleiner, sondern grösser als der Zuwachs, welchen sie in gleicher Zeit bei der entsprechenden mittleren constanten Temperatur erreicht.

Das Resultat dieser Versuchsreihe stimmt also vollständig überein mit dem der ersten.

Es lässt sich leicht zeigen: wenn der Zuwachs proportional der Temperatur wäre oder wenn die Zuwachscurve eine gerade Linie wäre, so müsste der Zuwachs bei variabler Temperatur und der bei der constanten Mitteltemperatur gleich sein. Wäre ferner die Zuwachscurve eine krumme Linie, welche die concave Seite der Abscissenaxe zukehrt, so lässt sich zeigen, dass der Zuwachs bei variabler Temperatur kleiner sein muss, als der bei der constanten Mitteltemperatur. Meine Beobachtungsresultate widersprechen beiden Annahmen. — Es lässt sich aber ferner zeigen, wenn die Zuwachscurve eine krumme Linie ist, welche die convexe Seite der Abscissenaxe zukehrt, so muss der Zuwachs bei variabler Temperatur grösser sein als der bei der constanten Mitteltemperatur.

Mit dieser Annahme stimmen meine Versuchsergebnisse vollständig überein, d. h. also sie weisen darauf hin, dass die Zuwachscurve eine krumme Linie ist, welche ihre Convexität der Abscissenaxe zukehrt. Wenn nun directe Beobachtungen ergeben, dass die Zuwachscurve in der That diese Form besitzt, so ist damit bewiesen, dass die von mir gefundenen Ergebnisse nothwendig richtig sein müssen, und dass die Temperaturschwankung an sich weder einen günstigen noch ungünstigen Einfluss auf das Wachsthum übt (vergl. auch Sachs, Jahrb. für wiss. Bot. II, p. 338).

Dritte Versuchsreihe: Zuwachse, welche die Fabawurzel in 6 Stunden bei einer constanten Temperatur von 10° R.

(12,5° C.), 15° R. (18,75° C.) und 20° R. (25° C.) erreichte. (Vers. 16—18).

Die 3 hierüber angestellten Versuche wurden mit Wassercultur (wie oben beschrieben) ausgeführt, mit 4 Culturcylindern, in welchen das Wasser constant auf 10° R., 15° R. und 20° R. gehalten wurde; um die individuellen Verschiedenheiten zu eliminiren, wurden die Pflanzen bei den Versuchen umgetauscht.

Bezeichnen wir die 3 Gruppen mit *A*, *B*, *C*, so ist die Umtauschung nach folgendem Schema vorgenommen:

	10° R.	15° R.	20° R.
Versuch 16:	*A*.	*B*.	*C*.
Versuch 17:	*B*.	*C*.	*A*.
Versuch 18:	*C*.	*A*.	*B*.

Indem die in den 6 Stunden bei 10° R., 15° R. und 20° R. erreichten Zuwachse mit respective K^{10}, K^{15} und K^{20} bezeichnet werden, ist das Versuchsresultat folgendes:

	A.	*B*.	*C*.	Mittel	
$K^{10° R.}$ =	1,9mm	1,8mm	1,8mm	1,9mm	(17)
$K^{15° R.}$ =	3,2	3,6	3,4	3,4mm	(18)
$K^{20° R.}$ =	5,9	6,2	5,8	6,0mm	(17)

Oder: $K^{10} : K^{15} : K^{20} = 100 : 179 : 316$.

Wie man sieht, haben wir hier für K^{15} denselben Werth, wie in der ersten Versuchsreihe gefunden, und haben darin eine Garantie für die Richtigkeit auch der anderen gefundenen Zahlen.

Wir kennen also nun 3 Punkte in der Zuwachscurve. Führen wir die Construction aus, dann sieht man:

Die Zuwachscurve, betrachtet als Function der Temperatur, ist eine krumme Linie, deren Steigung mit der Abscisse steigt und deren convexe Seite der Abscissenaxe sich zukehrt.

Mir ausführlichere Untersuchungen über diese Function vorbehaltend, gebe ich hier noch zwei Punkte in der Zuwachscurve an:

$$K^{26° C.} = 6{,}6^{mm}\ (6),\quad K^{27° C.} = 8{,}35^{mm}\ (6).$$

Aus dieser Form der Zuwachscurve lässt sich folgern:

Der in gleicher Zeit bei variabler Temperatur erreichte Zuwachs muss grösser sein, als der bei constanter Mitteltemperatur erreichte.

Das Resultat der ersten und zweiten Versuchsreihe musste folglich so ausfallen, wie es ausgefallen ist. In Folge der Natur der Abhängigkeit des Zuwachses von der Temperatur muss der Zuwachs bei variabler Temperatur einen Ueberschuss über den bei constanter Mitteltemperatur

haben, ohne dass die Temperaturschwankung als solche die geringste Rolle zu spielen braucht.

Aber daraus, dass die Temperaturschwankung keinen Einfluss auf das Wachsthum zu haben braucht, folgt noch nicht, dass sie keinen hat; denn es ist ja möglich, dass der bei den Versuchen gefundene Ueberschuss grösser oder kleiner ist, als er nach der Berechnung sein soll, und in diesem Falle konnte die Annahme von einem fördernden oder zögernden Einfluss der Temperaturschwankungen in Betracht kommen, um die Differenz zu erklären.

Um zu entscheiden, ob diess der Fall ist, müssen einige Berechnungen ausgeführt werden. Die zweite Versuchsreihe ist zu einer solchen nicht geeignet, denn erstens sollte man den Zuwachs für jede in Betracht kommende Temperatur kennen, was nicht der Fall ist, und zweitens sind die bei den Versuchen gefundenen Zahlen nicht sicher genug, um eine Berechnung zu ertragen. Ich benutze daher die erste Versuchsreihe umsomehr, als ja kein principieller Unterschied zwischen den zwei Versuchsreihen existirt, so dass, was für die erste Reihe gilt, auch für die zweite gültig ist.

In der ersten Versuchsreihe hat die Temperatur so variirt, dass die Pflanzen im Ganzen 3 Stunden in 10° R. und 3 Stunden in 20° R. zugebracht haben.

Der berechnete Ueberschuss, welchen der Zuwachs der in variabler Temperatur wachsenden Wurzeln über den Zuwachs der in constanter Mitteltemperatur wachsenden haben soll, ist:

$$\frac{K^{10}}{2} + \frac{K^{20}}{2} \div K^{15} = \frac{1,9}{2} + \frac{6}{2} - 3,4 = 0,55^{\text{mm}}.$$

Der bei der Versuchsreihe gefundene Ueberschuss ist:

$$V - K = 0,60^{\text{mm}}.$$

Berechnung und Versuch stimmen also mit einander so überein, dass die kleine Differenz noch innerhalb der Grenze der Beobachtungsfehler liegt, der beobachtete Ueberschuss hat die Grösse des berechneten, und die Temperaturschwankung als solche hat keinen Einfluss auf das Wachsthum.

Unter der Voraussetzung, dass die Schwankung als solche keinen Einfluss hat, kann man den Zuwachs berechnen, welcher erreicht werden soll durch eine solche Temperaturänderung, dass es im Ganzen einen dreistündigen Aufenthalt bei 10° R. und einen dreistündigen Aufenthalt bei 20° R. giebt.

Der berechnete Zuwachs ist: . . . . $\frac{K^{10}}{2} + \frac{K^{20}}{2} = 3,95^{\text{mm}}.$

Der bei den Versuchen gefundene Zuwachs ist: . . . . $4,00^{\text{mm}}.$

Da der berechnete und der gefundene Zuwachs gleich sind, so ist die Voraussetzung, auf welcher die Berechnung beruht, richtig und also:

Die Temperaturschwankung als solche hat für das Wachsthum weder einen fördernden noch einen verzögernden, sondern gar keinen Einfluss.

Uebersicht der Beobachtungen.

A. **Erste Versuchsreihe.** Versuche mit plötzlichen Wechslungen zwischen 10° Reaumur und 20° Reaumur. Versuchsdauer 6 Stunden. *V* ist der Zuwachs bei variabler Temperatur, *K* der Zuwachs bei 15° R. in Millimeter. Wassercultur.

a. Versuch ohne Umtauschung der Versuchspflanzen.

Versuch 1. Stündliche Wechslung zwischen 20° R. (Max. 20° — Min. 19,75°) und 10° R. (10,5—10°).

$V = 4{,}2^{mm}$ (8 Exemplare)
$K = 3{,}7^{mm}$ (9 Exemplare) $V : K = 113 : 100.$

b. Versuch mit Umtauschung der Versuchspflanzen.

Versuch 2. Halbstündliche Wechslung zwischen 20° R. (20° — 19,5°) und 10° R. (10,5°—10°).

$V = 4.$ (7)
$K = 3{,}1.$ (7) $V : K = 129 : 100.$

Versuch 3. Halbstündliche Wechslung zwischen 20° R. (20° — 9,15°) und 10° R. (10,5°—10°). Die Pflanzen, welche in Versuch 2. in constanter Temperatur waren, sind in diesem in variabler Temperatur und umgekehrt.

$V = 2{,}9.$ (7)
$K = 2{,}8.$ (7) $V : K = 105 : 100.$

Versuch 4. Viertelstündliche Wechslung zwischen 20° R. (20° — 19,5°) und 10° R. (10,5° — 10°). Dieselben Pflanzen wie in Vers. 2 und Vers. 3, aber nicht umgetauscht, so dass die Pflanzen, welche hier in constanter Temperatur sind, es auch waren in Vers. 2.

$V = 3{,}1.$ (8)
$K — 2.9.$ (7) $V : K = 106 : 100.$

Versuch 5. Halbstündliche Wechslung zwischen 20° R. (20° — 19,25°) und 10° R. (10,5° — 9,5°).

$V = 4{,}6.$
$K = 3{,}6.$ $V : K = 126 : 100.$

Versuch 6. Halbstündliche Wechslung zwischen 20° R. (20° — 19,75°) und 10° R. (10,5°—10°). Dieselben Pflanzen wie in Versuch 5, aber umgetauscht.

$V = 4{,}6.$ (10)
$K = 4{,}4.$ (11) $V = K\ 105 : 100.$

Versuch 7. Halbstündliche Wechslung zwischen 20° R. (20° — 19,75°) und 10° R. (10°—9 75°). Dieselben Pflanzen wie in Versuch 5 und 6 aber wieder umgetauscht.

$V = 4{,}5.$ (9)
$K = 3{,}4.$ (10) $V : K = 132 : 100.$

B. **Zweite Versuchsreihe.** Continuirliche Temperaturänderungen.

a. Der Versuch in constanter Temperatur mit anderen Pflanzen als der Versuch in variabler Temperatur. Wassercultur.

Versuch 8. Continuirliches Fallen der Temperatur, von 19,5° R. bis 12° R. in 5 Stunden. Mitteltemperatur 15,2° R. In derselben Zeit stehen andere Pflanzen in 15° R.

$V^{15,2\,R.} = 3{,}5.$ (8)
$K^{15} = 3{,}1.$ (8) $V : K = 109 : 100.$

b. Der Versuch in constanter Temperatur mit denselben Pflanzen wie der Versuch in variabler Temperatur. Die Thermometerangaben sind nach Celsius.

α. Wassercultur.

Versuch 9. Continuirliches Fallen der Temperatur von 24,5°C. bis 13,1° C. in 8¾ Stunden, dann plötzliches Steigen zu 24° C. und continuirliches Fallen bis 19,8° C. in 3¼ Stunden. Mitteltemperatur 17,8° C. Versuchsdauer 12 Stunden. — Die constante Temperatur ging von 18° C. bis 17° C. in 12 Stunden. Mitteltemperatur 17,5° C. und die stündliche Temperaturänderung also $\frac{1}{12}° = 0{,}08°$.

$V^{17,8}_{24,5-13,1} = 8{,}7.$ (12)
$K^{17,5}_{\substack{0,08\\18-17}} = 7{,}3.$ (12) $V : K = 119 : 100.$

berechnet für 6 Stunden:

$$V^{17,8}_{24,5-13,1} = 4{,}3.$$

$$K^{17,5}_{\substack{0,08\\18-17}} = 3{,}6.$$

Versuch 10. Abwechselnd starkes Steigen und Fallen der Temperatur. Max. 25,7° C. Min. 14° C. Mitteltemperatur 19,9° C. Versuchsdauer 6 Stunden. Die constante Temperatur ging von 20° bis 19,5° in 18 Stunden. Mitteltemp. 19,7°. Mittl. stündl. Aenderung $\frac{0,5°}{18} = 0,03°$.

$V^{19,9}_{25,7-15} = 4,5.$ (5)
$K^{19,7}_{\substack{0,03\\20-19,5}} = 4,2.$ (5)
$V : K = 107 : 100.$

Versuch 11. Abwechselnd starkes Steigen und Fallen der Temperatur. Max. 23,4° C. Min. 15° C. Mitteltemperatur 19,4° C. Versuchsdauer 8 Stunden. Die constante Temperatur ging von 20° C. bis 16° C. in 15 Stunden, Mitteltemperatur 18° C. Mittlere stündliche Aenderung $^4/_{15}° = 0,27°$. Der Zuwachs reducirt zu 6 Stunden.

$V^{19,4}_{23,4-15} = 3,9.$ (7)
$K^{18}_{\substack{0,27\\20-16}} = 3,1.$ (7)
$V : K = 124 : 100.$

Versuch 12. Abwechselnd starkes Steigen und Fallen der Temperatur. Max. 28°. Min. 14,5°. Mitteltemperatur 19,8°. Versuchsdauer 8 Stunden. Die constante Temperatur ging von 22° bis 17° in 16 Stunden. Mitteltemperatur 19,5°. Mittlere stündliche Aenderung $^5/_{16}° = 0,31°$. Der Zuwachs berechnet für 6 Stunden.

$V^{19,8}_{28-14,5} = 4,6.$ (6)
$K^{10,5}_{\substack{0,2\\22,17}} = 4,6.$ (6)
$V : K = 100 : 100.$

β. Cultur in Erde. Vers. 13—15 mit denselben Pflanzen ausgeführt.

Versuch 13. Abwechselnd starkes Steigen und Fallen der Temperatur. Max. 26,5°. Min. 18,5°. Mitteltemperatur 22,5°. Versuchsdauer 8 Stunden. Die constante Temperatur ging von 23° bis 25° in 15 Stunden. Mitteltemperatur 22,75°. Mittlere stündliche Aenderung $\frac{0,5°}{15} = 0,03°$. Der Zuwachs berechnet für 6 Stunden.

$V^{22,5}_{26,5-18,5} = 6,75.$ (4)
$K^{22,75}_{\substack{0,03\\23-22,5}} = 6,3.$ (4)
$V : K = 106 : 100.$

Versuch 14. Abwechselnd starkes Steigen und Fallen der Temperatur. Max. 27°. Min. 17,5°. Mitteltemperatur 22°. Versuchsdauer 10 Stunden. Die constante Temperatur ging von 24° bis 21,5° in 15 Stunden. Mitteltemperatur 22,75°. Mittlere stündliche Aenderung $\frac{2,1°}{15} = 0,17°$. Der Zuwachs berechnet für 6 Stunden.

$V^{22}_{27-17,5} = 6,7.$ (6)
$K^{22,75}_{\substack{0,17\\24-21,5}} = 6,6.$ (6)
$V : K = 102 : 100.$

Versuch 15. Continuirliches Steigen der Temperatur von 21,5° bis 24° in 10 Stunden. Mitteltemperatur 22,75°. Mittlere stündliche Aenderung $\frac{2,5^{\circ}}{10} = 0,25^{\circ}$. Der Zuwachs berechnet für 6 Stunden.

$$K^{22,75}_{21,5-24.} = 6,7. \quad (5)$$

C. **Dritte Versuchsreihe.** Bestimmung des Zuwachses in 6 Stunden bei einer constanten Temperatur von 10° R., 15° R. und 20° R. Wassercultur. Umtauschung der Versuchspflanzen wie oben p. 576 angegeben.

Versuch 16.		Versuch 17.		Versuch 18.	
$K^{10} = 1,9^{mm}$	(5)	$K^{10} = 1,9$	(6)	$K^{10} = 1,8$	(6)
$K^{15} = 3,6$	(6)	$K^{15} = 3,4$	(6)	$K^{15} = 3,2$	(6)
$K^{20} = 5,8$	(6)	$K^{20} = 5,9$	(6)	$K^{20} = 6,2$	(5)

Die Zuwachse bei den einzelnen Versuchen.

In den Versuchen 1—8 sind *V* und *K* von verschiedenen Pflanzen.

	Vers. 1.		Vers. 2.		Vers. 3.		Vers. 4.		Vers. 5.		Vers. 6.		Vers. 7.		Vers. 8.	
	V.	*K.*	*V.*	*K.*	*V.*	*K.*	*V.*	*K.*	*V.*	*K.*	*V.*	*K.*	*V.*	*K.*	*V.*	*K.*
	4,5	4,5	3,28	3,5	3	2,25	2,5	3	4,5	5	4	5,25	4	3,5	3	3,25
	4,5	3,5	3	3	2,75	3	3	3	5,25	4,25	5	5	3,5	3,5	3,5	3,25
	4	3,25	3,25	3	2	2,5	3,75	2,5	5	3,5	3,5	4,5	5,25	4	3,25	3,5
	4,5	3,75	3,5	3,5	3	3	3	3,5	5,5	3	4,5	4	3,5	3	3,25	2,25
	3,5	3	4	2	3,5	2,5	2,75	3	6	3,25	5	5,25	5,5	2,75	4	3
	4	4,5	4,5	4,5	4	3	3	2	5	5	4	5	5	3,75	4,25	2,75
	4,5	3,5	4,5	2,5	2,5	3,5	3,5	3,75	5	3,5	5	4	5,5	3,5	3	3,25
	4	4						2,5	2,5	2,5	4,5	3	4,5	3,25	3,5	3,5
		3							3,75	3,5	5	5	4,5	3,5		
									3,5	3	5	3,25		3,5		
											4,75					
mittl.	4,2	3,7	4	3,1	3	2,8	3,1	2,9	4,6	3,6	4,6	4,4	4,5	3,4	3,5	3,1

In den Versuchen 9—15 sind *V* und *K* in jedem Versuch von denselben Pflanzen.

No. d. Pflanze	Vers. 9. 12 Stund.		Vers. 10. 6 Stund.		Vers. 11. 8 Stund.		Vers. 12. 5 Stund.		Vers. 13. 5 Stund.		Vers. 14. 10 Stund.		Vers. 15. 10 Stund.	
	V.	*K.*	*V.*	*K.*	*V.*	*K.*	*V.*	*K.*	*V.*	*K.*	*V.*	*K.*	*V.*	*K.*
1	7	6,5	5,5	5,3	4	4,5	6,5	6,8	13	12,4	16	16		12,5
2	9,75	9	4	3,75	5,75	4,1	5,75	5,7	8	7,1	8,5	9		11
3	10,25	9,75	5,25	5	6	5	5,75	5,8	7,5	7,0	9	8,6		8
4	8,5	8	4,5	4	5	4	6,5	6,7	7,5	7,3	10,5	11		13
5	7,5	7	3,5	3	4,5	4	6	6,7			11,5	10,6		11
6	7,5	6,5			5,5	2,9	4,5	4,5			11,5	11,3		
7	10,75	5			5,5	4,8	6,5							
8	8,75	9												
9	10	6,75												
10	8,25	7,25												
11	8,25	6,25												
12	7,5	6,75												
mittl.:	8,7	7,3	4,5	4,2	5,2	4,2	6	6	9	8,4	11,2	10,9		11,1

No. d. Pflanze	Versuch 16.			Versuch 17.			Versuch 18.		
	K^{10}	K^{15}	K^{20}	K^{10}	K^{15}	K^{20}	K^{10}	K^{15}	K^{20}
1	2	4	4,5	1,25	2,75	6,75	2	4,25	—
2	2	4,25	6	2,5	4	5,25	2	3	6,5
3	1,75	2,75	5,5	2,25	3,75	4,75	2	4	6
4	1,5	3,75	6	2,25	3,25	5,75	1,75	3,5	7,25
5	—	3,75	6,5	1,5	3,5	5,25	1,75	3,5	6
6	2,25	3	6,5	2	3,25	7,75	1,5	4,75	5,5
	A.	*B.*	*C.*	*B.*	*C.*	*A.*	*C.*	*A.*	*B.*
mittl.:	1,9	3,6	5,8	1,9	3,4	5,9	1,8	3,2	6,2

Der Gang der Temperatur bei den Versuchen mit schwankender Temperatur in der 2ten Versuchsreihe.

Stunde.	Vers. 8. Temp. R.	Vers. 9. Temp. C.	Vers. 10. Temp. C.	Vers. 11. Temp. C.	Vers. 12. Temp. C.	Vers. 13. Temp. C.	Vers. 14. Temp. C.
9¾ a. m.		24,5					
10		23,5					22,5
10¼		22,6					23,4
10½		21,8					24
10¾		21,1					24,6
11		20,4	15	15	20	24	25,4
11¼		19,8	16	20	19,5	22,3	23,8
11½	19,5°	19,3	16,5	22,5	19	20	21,3
11¾		18,8	21,2	18,5	28	19,5	19,5
12		18,4	25,7	21,2	22,6	20,3	20,5
12¼ p.m.		17,9	24,2	18,6	20,5	21,2	21,8
12½	17,5	17,5	22	20,4	19	22,7	23,8
12¾		17,1	19,5	18,6	23,5	23,7	26,2
1	16,25	16,7	14	19,7	22—14,5	24,7	27
1¼					15,3		
1½					16		
1¾					16,9		
2					17,6		
2¼	14,75			19,5	18,5		
2½		15,2	21,7	17,2	19,2	26,5	26,9
2¾		15	24,7	22,2	20	22,5	24,2
3		14,8		18 2	17,2	21,4	20,6
3¼	13,25	14,6	25,7	21,2	16,2	20,3	19,3
3½		14,4	21,5	18	28	18,5	18,3
3¾		14,2	20,4	19,8	22,4	18,5	17,5
4		14,1	18,6	18,5	19,3	19	18
4¼	12,25	14	16,3	19,5	23,7	20,5	18,5
4½	12	13,9	19,5	16,2	20,6	21,3	18,3
4¾		13,8	20,2	22	19,9	21,8	18,1
5		13,7	20,5	17,9	19,2	23,3	18
5¼		13,6		20,8	18,5	24,6	18,5
5½		13,5		18,4	20,2	26	20
5¾		13,4		19,2	17,5	23,7	21
6		13,3		18,2	19	22	21,7
6¼		13,2		23,4	19,5	21,3	23,3
6½		13,1—24		17,4	18,9	21	24,7
6¾		23,5		20	18,2	22,2	22,8
7		23		17,8	19,5	23	21,5
7¼		22,6					22
7½		22,3					22,4
7¾		22					22,5
8		21,7					22,8
8¼		21,3					
8½		21					
8¾		20,7					
9		20,4					
9¼		20,2					
9½		20					
9¾		19,8					

XIX.

Ueber das Wachsthum der Haupt- und Nebenwurzeln.

Von

J. Sachs.

(Fortsetzung.)

2.

Nebenwurzeln der ersten Ordnung.

§. 32. Unter Nebenwurzeln der ersten Ordnung verstehe ich solche Wurzeln, welche unmittelbar aus einer Hauptwurzel oder aus einem Stammgebilde z. B. aus aufrechten Stengeln, Rhizomen, Knollen und Zwiebeln entspringen.

Die Wachsthumsverhältnisse derartiger Wurzeln und ihre durch Wachsthum vermittelten Reactionen gegen äussere Eingriffe sind verschieden, je nach der Natur und Lebensweise der Pflanze und des Organs derselben, aus welchem sie als seitliche Auswüchse entspringen, um dann bestimmten Functionen zu dienen, abwärts wachsend in die Erde einzudringen oder als Luftwurzeln Kletter- und Haftorgane darzustellen. Gegenstand der hier folgenden Mittheilungen sind jedoch ganz vorwiegend nur die aus senkrecht abwärts wachsenden Hauptwurzeln entspringenden Nebenwurzeln und im Zusammenhang mit den im ersten Theil dieses Aufsatzes beschriebenen Beobachtungen beziehen sich die folgenden Angaben zunächst auf die Nebenwurzeln von Vicia Faba; doch wurden zum Vergleich auch Pisum sativum, Phaseolus multiflorus, Cucurbita Pepo, Zea Mais herbeigezogen. Diesen ähnlich verhalten sich die aus den Knollentrieben von Solanum tuberosum und aus den Zwiebeln von Allium Cepa, sowie die aus den Knoten abgeschnittener Halme von Phragmites arundinacea hervorkommenden Wurzeln, wenn auch immerhin leichtere Verschiedenheiten bei den ge-

nannten Arten sich geltend machen. Auffallend unterscheiden sich dagegen von den genannten die Luftwurzeln, welche näher zu beobachten ich Gelegenheit hatte, die verschiedener Aroideen besonders und einer Vitis-Art; die Luftwurzeln der Orchideen werden wahrscheinlich noch auffallendere Unterschiede darbieten, die ich jedoch bisher aus Mangel an Material nur gelegentlich beobachten konnte. Jedenfalls steht soviel fest, dass es voreilig wäre, die hier von den gewöhnlichen in Erde eindringenden Nebenwurzeln beschriebenen Eigenschaften ohne Weiteres auf ächte Luftwurzeln zu übertragen; ich werde weiter unten Gelegenheit nehmen, auf die grosse Verschiedenheit in der Länge der wachsenden Region derselben gegenüber den Erdwurzeln hinzuweisen, da ich gerade in dieser Beziehung Gelegenheit hatte, einige Beobachtungen im Laufe der letzten Jahre zu machen; was dagegen die sonstigen Besonderheiten der als Kletter- und Haftorgane dienenden Luftwurzeln betrifft, so muss ich die Vervollständigung meiner Beobachtungen noch weiter hinausschieben.

Die Beschränkung auf das oben angedeutete engere Gebiet erschien schon insofern geboten, als auch die Beobachtung der aus Hauptwurzeln entspringenden Nebenwurzeln so gemeiner Pflanzen, die man leicht in Hunderten und Tausenden von Exemplaren cultiviren kann, mit manchen Weitläufigkeiten und unerwarteten Schwierigkeiten verbunden ist, welche oft die Geduld des Beobachters auf eine harte Probe stellen; es wird nöthig selbst für Fragen der einfachsten Art zahlreiche Pflanzen zu cultiviren und immer wiederholt bald diese bald jene Kleinigkeit an den Versuchen zu corrigiren, und hat man zufällig nicht Pflanzen im richtigen Entwicklungsstadium zur Hand, so vergehen vier bis acht Tage bis das Beobachtungsmaterial von Neuem beschafft ist. Die hier mitgetheilten Resultate sind aus Beobachtungen gewonnen, welche in den Frühjahrsmonaten 1872, 1873 und 1874 angestellt wurden; ein Theil derselben ist übrigens schon in der dritten Auflage meines Lehrbuchs und in der vierten (p. 812 und 816) verwerthet worden.

§. 33. Betreffs der morphologischen, zumal der Stellungsverhältnisse der Nebenwurzel an ihrer Hauptwurzel darf ich das hier Nöthige als hinlänglich bekannt voraussetzen. Was speciell die Zahl der Nebenwurzelreihen an einer Hauptwurzel betrifft, so ist darüber bei Du Clos (Ann. d. sc. nat. 1852 T. 18) und in meiner Abhandlung »Ueber die gesetzmässige Stellung der Nebenwurzeln« (Octoberheft der Sitz.-Ber. der Wiener Akad. 1857) das Nöthige mitgetheilt. Hier will ich nur kurz hervorheben, dass bei Vicia Faba regelmässig 5 Orthostichen von Nebenwurzeln an einer Hauptwurzel vorhanden sind, nämlich zwei auf der Rückenseite, eine vorn und je eine rechts und links unterhalb der Cotyledonen; bei Pisum sativum sind drei Orthostichen: Eine hinten und je eine rechts und links nach vorn gewendet vorhanden. Bei Phaseolus multiflorus stehen so wie

bei Cucurbita Pepo die vorhandenen vier Nebenwurzelreihen rechtwinklig gekreuzt gegen einander, d. h. je eine vorn und hinten und je eine rechts und links unter den Cotyledonen; undeutlicher und viel zahlreicher stehen die Nebenwurzelreihen an der Hauptwurzel von Zea Mais. — Die Entstehungsfolge der Nebenwurzeln an einer Hauptwurzel ist bekanntlich acropetal, von der Wurzelbasis nach der Spitze hin fortschreitend und niemals beobachtet man während der Keimungszeit und während der ersten Vegetationsperiode adventive Wurzeln, welche zwischen den schon vorhandenen in einer Orthostiche oder gar zwischen den Orthostichen entstehen; dagegen ist hier hervorzuheben, dass sehr häufig Nebenwurzeln auch aus dem hypocotylen Stammgliede, besonders bei Phaseolus multiflorus und Cucurbita entspringen, die sich zwar mit den anderen in Reihen stellen, sich aber, wie wir später sehen werden, bezüglich ihrer Wachsthumsrichtung von ihnen unterscheiden. — Die Grenze zwischen Wurzelbasis und hypocotylem Glied verlege ich für unsern vorliegenden Zweck an diejenige Stelle, wo die Bildung der Wurzelhaare beginnt; wie ich schon vor vielen Jahren mittheilte, lässt sich diese Grenze auch dadurch sehr leicht auffallend sichtbar machen, dass man die Pflanze in eine sehr verdünnte Lösung von übermangansaurem Kali legt, wo sich alsdann nur die nicht cuticularisirte Wurzeloberfläche durch Niederschlag von Braunstein bräunt.

Die acropetale Entstehungsfolge der Nebenwurzel an einer Hauptwurzel bringt es mit sich, dass man in einem mittleren Entwicklungszustand der Keimpflanzen Nebenwurzeln der verschiedensten Alterszustände antrifft: während die oberen an der Wurzelbasis schon mehrere Centimeter lang sind, beginnen die untersten eben die Rinde der Hauptwurzel zu durchbrechen. Denkt man sich in diesem Zustand die Spitzen sämmtlicher Nebenwurzeln einer Reihe durch Linien, diese aber durch Flächen verbunden, so zeigt das ganze Wurzelsystem ungefähr den Umriss einer dreiseitigen, vier- oder mehrseitigen Pyramide, deren Spitze nach unten gekehrt ist. Indessen finden sich innerhalb der Orthostichen gewöhnlich einzelne kürzere oder auffallend längere Nebenwurzeln als ihrer Reihenfolge entspricht. Wenn die Hauptwurzel während einiger Tage eine gewisse, wenn auch nicht streng begrenzte aber doch der Species eigenthümliche Anzahl von Nebenwurzeln erzeugt hat, so pflegt sie dann noch lange weiter fortzuwachsen, ohne dass sie neue Nebenwurzeln bildet, die Hauptwurzel erscheint dann unterhalb der mit Nebenwurzeln besetzten Region als ein einfacher, nicht selten zehn bis zwanzig Centimeter langer Faden.

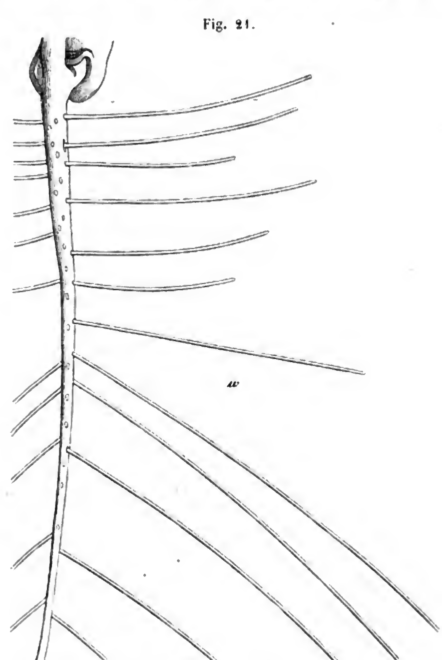
§. 34. Die zu den Culturen benutzten Apparate, Beobachtungs- und Messungsmethoden waren in der Hauptsache die schon im §. 2—8 bei den Hauptwurzeln beschriebenen, nur dass hier der Natur der Objecte entsprechend manche Abänderungen getroffen werden mussten. Abgesehen

von manchen, fast selbstverständlichen Einzelheiten will ich nur hervorheben, dass in solchen Fällen, wo es darauf ankommt die Nebenwurzeln in umgekehrter oder schiefer Richtung der Einwirkung der Schwere oder der Centrifugalkraft auszusetzen, die Hauptwurzel vorher soweit entwickelt sein muss, dass derjenige Theil derselben, welcher im Stande ist Nebenwurzeln zu bilden, sein Längenwachsthum beendigt hat und also selbst keine Krümmung mehr macht. Diess ist nun ohnehin der Fall, wenn man die Pflanze vor dem Versuch soweit wachsen lässt, dass die Mehrzahl der Nebenwurzeln bereits äusserlich sichtbar ist, denn die jüngsten untersten Nebenwurzeln sind immer um viele Centimeter von der Hauptwurzelspitze entfernt. — Wenn es darauf ankommt, die Nebenwurzeln in Erde wachsend in einem Glaskasten wie Fig. 1 *C* hinter einer Glaswand zu beobachten, so kann man die Keimpflanzen, wenn die Hauptwurzeln zunächst senkrecht hinabwachsen sollen, schon in frühester Jugend in die Erde bringen, es ist jedoch zuweilen bequemer, die Keimung in Sägespänen soweit fortschreiten zu lassen, dass die Hauptwurzel vor dem Einpflanzen in die Erde 6—8 Centimeter lang ist. Letzteres ist immer dann nöthig, wenn man wissen will, in welcher Weise die Nebenwurzeln aus der Hauptwurzel austreten, während die letztere horizontal oder schief liegt.

Gewöhnlich sieht man aus der in Erde hinter der Glaswand liegenden Hauptwurzel zwei Reihen von Nebenwurzeln nach rechts und links ausstrahlen, welche meist in ihrem ganzen Verlauf deutlich sichtbar sind; die übrigen ganz in die Erde eindringenden entziehen sich natürlich der Beobachtung. Man kann bei der Einpflanzung die Vorsicht brauchen, der Hauptwurzel eine solche Stellung zur Glaswand zu geben, dass die später hervorbrechenden Nebenwurzeln ohnehin rechts und links vom Beschauer liegen; diese Vorsicht ist indessen kaum nöthig, da solche Nebenwurzeln, welche bei ihrem Austritt aus der Hauptwurzel auf die Glaswand zu wachsen mit seltenen Ausnahmen, seitlich umbiegen, und an ihr so hinwachsen, als ob sie gleich anfangs parallel mit der Glaswand hervorgekommen wären. — Weitere die Behandlung der Pflanzen betreffende Einzelheiten werde ich im Laufe der Darstellung noch hervorheben. Hier will ich vorläufig noch bemerken, dass bei den Figuren der Deutlichkeit und Einfachheit wegen gewöhnlich nur zwei Wurzelreihen oder nur eine derselben gezeichnet worden sind, oder dass überhaupt nur einige Nebenwurzeln einer Hauptwurzel abgebildet wurden; bei den in Erde wachsenden (hinter einer Glaswand) boten sich die Objecte ohnehin in dieser Weise der Nachbildung dar, und bei den im Wasser oder in feuchter Luft gewachsenen Wurzelsystemen würde die Darstellung solcher Nebenwurzeln, welche dem Beschauer zu- oder abgekehrt sind, perspectivische Ansichten ergeben haben, welche überall da, wo es sich um Richtungsverhältnisse handelt, leicht zu Missverständnissen Anlass geben konnten.

§. 35. Das Wachsthum der Nebenwurzeln in feuchter Luft, in Wasser und in Erde zeigt ähnliche Verschiedenheiten, wie das der Hauptwurzeln; ich habe sie nicht gerade zum Gegenstand ausführlicher messender Beobachtungen gemacht, sondern nur bei meinen zahlreichen Experimenten insoweit beachtet, als davon der Erfolg der Versuche abhängt, bei denen je nach Umständen die Nebenwurzeln bald in feuchter Luft, in Wasser oder in Erde sich entwickeln müssen. Als Hauptsache ist das bereits von den Hauptwurzeln Mitgetheilte auch hier hervorzuheben, dass bei längerer Dauer das Längenwachsthum der Nebenwurzeln in feuch-

Fig. 21.



Vicia Faba; bei *w* das Wasserniveau im Culturcylinder; die Nebenwurzeln oberhalb *w* in feuchter Luft, die unterhalb *w* in Wasser gewachsen.

ter Luft langsamer als im Wasser, und in diesem langsamer als in feuchter Erde ist, dass besonders in feuchter Luft das Längenwachsthum auch viel

früher erlischt. Auch hier kann durch häufige Benetzung der in feuchter Luft befindlichen Nebenwurzeln jedoch die Geschwindigkeit und die Dauer des Wachsthums beträchtlich begünstigt werden. Einen Vortheil, den die Hauptwurzel nicht bietet, kann man bei Versuchen insofern gelegentlich benutzen als es möglich ist, beinahe horizontal ausstrahlende Nebenwurzeln oberhalb einer Wasserfläche in feuchter Luft ohne Benetzung lange Zeit fortwachsen zu lassen, weil ihnen die in das Wasser hinabtauchende Hauptwurzel Wasser zuführt; übrigens zeigt sich dabei, dass die Benetzung doch in hohem Grade begünstigend auf das Wachsthum der Nebenwurzeln auch dann einwirkt, wenn nicht nur die Hauptwurzel, sondern auch tiefere Nebenwurzeln in das Wasser hinabtauchen; von diesem Verhalten mag zunächst Fig. 21 ungefähr eine Vorstellung geben, wo *w* das Wasser-Niveau in einem der Culturcylinder, wie er in Fig. 1 *A* abgebildet ist, angiebt. Die hier abgebildete Pflanze war in demselben befestigt worden, als die oberen Nebenwurzeln schon 10—15 Millim., die jetzt im Wasser vorhandenen noch gar nicht sichtbar waren; nach sechs Tagen, zu der Zeit, wo das Wurzelsystem abgebildet wurde (Temperatur 18—20° C.), waren die älteren in feuchter Luft entwickelten Wurzeln nur 30—50 Millim. lang, während die jüngeren innerhalb des Wassers schon 140—160 Millim. Länge erreicht hatten. Ganz ähnlich verhalten sich die aus der Hauptwurzel von Zea Mais entspringenden Nebenwurzeln. Befestigt man dagegen eine Keimpflanze so in einem Culturcylinder, dass die 6—10 Centim. lange Hauptwurzel horizontal etwa 3—4 Millim. hoch über dem Wasserniveau schwebt, so entwickeln sich die Nebenwurzeln aus der Oberseite aufwärts in die Luft hinein, während die aus der Unterseite entspringenden sehr bald in das Wasser hinabtauchen; in diesem Falle sind die Wurzeln, welche in Luft, und die, welche in Wasser tauchen, von gleichem Alter; in den ersten Tagen bemerkt man noch keinen sehr beträchtlichen Unterschied: nach 3—6 Tagen ist dieser jedoch sehr auffallend: in einem derartigen Fall z. B. waren die in die Luft hinaufgewachsenen Nebenwurzeln nur 25—30 Millim., die in das Wasser hinabwachsenden bis 120 Millim. lang. So beträchtlich ist der Unterschied im Wachsthum, in feuchter Luft und Wasser jedoch nur dann, wenn die in Luft befindlichen Wurzeln entweder gar nicht oder nur nach einigen Tagen benetzt werden; werden sie täglich 2—3 mal oder noch öfter benetzt, oder lässt man sie täglich einmal eine halbe bis eine ganze Stunde in Wasser verweilen, dann wird die Wachsthumsfähigkeit in hohem Grade gesteigert, was zumal für Beobachtungen am Rotationsapparat sehr vortheilhaft ist, da dort einige der wichtigsten Fragen zu entscheiden sind, obgleich man genöthigt ist, die Nebenwurzeln in feuchter Luft wachsen zu lassen.

Partialzuwachse und Länge der wachsenden Region.

§. 36. Bei den aus Hauptwurzeln entspringenden Nebenwurzeln lassen sich die Partialzuwachse und die Länge der wachsenden Region nur dann beobachten, wenn sie sich in Luft oder Wasser entwickeln, da es kaum thunlich ist, eine mit Theilstrichen markirte Nebenwurzel sammt ihrer Hauptwurzel so in Erde zu bringen, dass die Markirung hinter der Glaswand deutlich sichtbar bleibt, ohne die Nebenwurzel selbst bei dieser Manipulation zu beschädigen, was bei der geringen Dicke derselben nur zu leicht stattfindet. Schon die Markirung mit Tuschestrichen ist unbequem und muss in kurzer Zeit vollbracht werden, jenes, weil die dicke Hauptwurzel und die Cotyledonen eine zweckmässige Lage der Pflanze für die Markirung hindern, Letzteres, weil die Nebenwurzeln soweit abgetrocknet werden müssen, um die Tuschestriche fest zu halten, wobei jedoch wegen ihrer geringen Dicke leicht ein zu grosser Wasserverlust und dem entsprechende Contraction, wenn nicht gar eine weitergehende Beschädigung eintritt. Diese Uebelstände lassen sich nicht wohl beseitigen und führen allerdings leicht zu Ungenauigkeiten, die aber, wie die Resultate ergeben, nicht weiter ins Gewicht fallen, insofern nämlich die ohnehin auch hier etwas variable Länge der wachsenden Region und die Lage der am stärksten wachsenden Querzone deutlich genug hervortreten, um einerseits die Vergleichung mit der Hauptwurzel, andrerseits die Beziehungen dieser Thatsachen zu den geotropischen Krümmungen durchführen zu können; wie aus folgenden Beispielen zu ersehen ist.

Nebenwurzeln von Vicia Faba in Wasser.

Bei zwei Keimpflanzen, deren Hauptwurzeln bis zur Basis in Wasser tauchten, wurden an je einer der obersten Nebenwurzeln 10 Zonen von je 1 Millim. Länge mit chinesischem Tusche markirt, so dass die Zone I an der Spitze auch den vor dem Vegetationspunkt gelegenen Theil der Wurzelhaube mit enthielt. Die Nebenwurzel A war zu dieser Zeit erst 13, die B 26 Millim. lang.

Zuwachse in 23 Stunden bei 17° — 20° C.

Zone	Wurzel A	— B.
X	0,0 Mill.	0,0 Mill.
IX	0,0 ,,	0,0 ,,
VIII	9,0 ,,	0,0 ,,
VII	0,0 ,,	0,0 ,,
VI	0,0 ,,	0,3 ,,
V	0,4 ,,	0,5 ,,
IV	1,2 ,,	1,3 ,,
III	**4,5** ,,	**4,0** ,,
II	2,5 ,,	1,2 ,,
Spitze I	0,4 ,,	0,3 ,,
Gesammtzuwachs	9,0 Mill.	7,6 Mill.

Nach den in § 17 dargelegten Gesichtspunkten war die wachsende Region bei A länger als 4 und kürzer als 5, bei B länger als 5 und kürzer als 6 Millim.; das Maximum der Partialzuwachse lag innerhalb der dritten Millimeterzone, oder ungefähr 2,5 Mill. von der Spitze der Wurzelhaube entfernt und wenn man, wie ich aus einigen Messungen schliessen darf, die Lage des Vegetationspunktes ungefähr 0,4 — 0,5 Mill. hinter der Haubenspitze annimmt, so lag das Zuwachsmaximum ungefähr 2 Mill. hinter dem Vegetationspunkt; hätte die Messung jedoch nach kürzerer Zeit stattgefunden, so wäre das Zuwachsmaximum vielleicht um etwas entfernter von der Spitze gefunden worden (vergl. §. 19).

Nebenwurzeln von Vicia Faba in Luft.

An einer Keimpflanze wurden zwei der oberen Nebenwurzeln A von 12, B von 15 Mill. Länge so markirt, dass der erste Strich dem Vegetationspunkt nahezu entsprach; Zonen je 1 Mill. lang. Die Hauptwurzel tauchte so tief in das Wasser, dass die beobachteten Nebenwurzeln nur mehrere Mill. über dem Niveau in der feuchten Luft schwebten und durch gelegentliche Bewegung des Wassers leicht benetzt wurden.

Zuwachse in 24 Stunden bei 17° C.

Zone	Wurzel A	— B.
X	0,0 Mill.	0,0 Mill.
IX	0,0 ,,	0,0 ,,
VIII	0,0 ,,	0,0 ,,
VII	0,3 ,,	0,0 ,,
VI	0,3 ,,	0,2 ,,
V	0,6 ,,	0,3 ,,
IV	1,6 ,,	1,0 ,,
III	**4,0** ,,	**4,5** ,,
II	2,5 ,,	4,5 ,,
Spitze I	0,5 ,,	0,8 ,,
Gesammtzuwachs	9,8 Mill.	11,3 Mill.

Die Länge der wachsenden Region war also bei A grösser als 6 und kleiner als 7 Mill., bei B grösser als 5 und kleiner als 6 Mill. Das Maximum der Partialzuwachse lag bei A ungefähr 2,5 Mill. hinter dem Vegetationspunkt, bei B erscheint es in Folge des stärkeren Wachsthums nach 24 Stunden bereits an die Grenze der zweiten Zone vorgerückt; hätte man früher gemessen, so wäre voraussichtlich das Maximum auch hier in der dritten Millimeterzone gefunden worden (§. 19).

Phaseolus multiflorus.

Nebenwurzel in Wasser (ursprünglich 12 Mill. lang). Zuwachs in 15 Stunden bei 24—25° C.

Zonen urspr. = 1 Mill.	
V	1,0 Mill.
IV	2,5 ,,
III	8,0 ,,
II	4,0 ,,
Spitze I	0,5 ,,
Gesammtzuwachs	16,0 Mill.

Die wachsende Region war also jedenfalls länger als 4, wahrscheinlich sogar länger als 5 Mill. und das Maximum der Zuwachse lag ungefähr 2,5 Mill. hinter dem Vegetationspunkt.

Vergleicht man diese Ergebnisse mit den bei der Hauptwurzel von Faba und Phaseolus in § 17—19 angegebenen Zahlen, so ist zunächst zu beachten, dass auch bei der Hauptwurzel die Länge der wachsenden Region nicht constant ist, um 2—3 Mill. schwanken kann, dass also eine genauere Vergleichung nur dann gemacht werden könnte, wenn man für die Nebenwurzeln wie für die Hauptwurzeln Mittelwerthe aus sehr zahlreichen Beobachtungen besässe. Indessen lässt sich doch soviel sagen, dass bei den Hauptwurzeln der genannten Pflanzen häufig genug noch die 9te und selbst die 10te Millimeterzone im Wachsen begriffen ist, während ich bei den Nebenwurzeln höchstens noch an der 7ten Millimeterzone einen Zuwachs fand. Dem entsprechend scheint auch die Stelle des stärksten Zuwachses der Nebenwurzeln nicht leicht über die dritte Zone hinaus zu liegen, während sie bei Hauptwurzeln bis in der 5ten und 6ten Millimeterzone hinter dem Vegetationspunkt gefunden wird. Hierüber, wie über die Steilheit der Curve der Partialzuwachse werden noch zahlreichere Messungen zu entscheiden haben. Ich begnüge mich mit dem hier Mitgetheilten, da es zum Verständniss der weiter unten beschriebenen Erscheinungen hinreicht.

Nachträglich habe ich noch zu erwähnen, dass auch bei den Nebenwurzeln, wie ich es früher bei den Hauptwurzeln beschrieben habe, die ausgewachsenen Querzonen sich nachträglich nicht unbeträchtlich verkürzen, wenn die Nebenwurzeln in feuchter Luft sich entwickeln.

§. 37. Obgleich ich nicht beabsichtige, mich hier mit den Luftwurzeln ausführlicher zu beschäftigen, will ich doch nicht versäumen, einige Messungen mitzutheilen, welche ich an Luftwurzeln von Aroideen und von Vitis velutina zu machen Gelegenheit hatte; es zeigte sich nämlich, dass die Länge der wachsenden Region eine unerwartet grosse ist; selbst mehr als zehnmal so gross, als bei den Erdwurzeln. Diese Beobachtungen wur-

den jedoch nur an frei in die Luft hinauswachsenden oder herabhängenden Wurzeln gemacht; ob sich die Verhältnisse ändern, wenn sie in die Erde eindringen, oder sich an feste Körper anschmiegen und an diesen hinwachsen, wird sich an besserem und reicherem Material, als mir zur Verfügung stand, entscheiden lassen.

Monstera deliciosa. (1872 Septb.)

Die beobachteten Luftwurzeln entsprangen unter dem Gipfel des Stammes eines grossen Exemplars, welches damals im Kalthaus stand. Die Wurzeln A — D waren bereits 1 bis 1,5 Meter lang und hingen herab, die E hatte sich erst bis auf 15 Ctm. verlängert und wuchs unter ungefähr 45° schief abwärts. — Die erste der je 10 Mill. langen Querzonen beginnt mit der Spitze der Wurzelhaube.

Zonen à 10 Mill.	Zuwachse in 24 Stunden. — Mitteltemp. 19,4° C.				
	A	B	C	D	E
	9 Mill.	3,5 Mill.	2,8 Mill.	4,0 Mill.	9 Mill. dick.
VIII	0,5 ,,	0,0 ,,	0,0 ,,	0,0 ,,	0,0 ,,
VII	1,0 ,,	0,0 ,,	0,0 ,,	0,0 ,,	0.0 ,,
VI	1,5 ,,	0,0 ,,	0,0 ,,	2,0 ,,	0,0 ,,
V	1,5 ,,	0,0 ,,	1,0 ,,	**4,0** ,,	1,0 ,,
IV	3,0 ,,	1,0 ,,	3,5 ,,	3,5 ,,	**3,0** ,,
III	**4,0** ,,	4,0 ,,	**4,5** ,,	3,5 ,,	2,5 ,,
II	1,0 ,,	4,0 ,,	4,0 ,,	3,0 ,,	2,5 ,,
Spitze I	1,0 ,,	2,0 ,,	4,0 ,,	3,0 ,,	1,0 ,,
Gesammtzuwachs	13,5 Mill.	11,0 Mill.	17,0 Mill.	19,0 Mill.	10,0 Mill.

Demnach war die Länge der wachsenden Region bei

A über 70 Mill.
B über 30 ,,
C über 40 ,,
D über 50 ,,
E über 40 ,,

Nehmen wir an, dass die Maxima der Partialzuwachse in der Mitte der entsprechenden Zonen liegen, so findet sich die Stelle des raschesten Wachsthums

bei A ungefähr 25 Mill. hinter der Spitze
,, B ,, 20 ,, ,, ,, ,,
,, C ,, 25 ,, ,, ,, ,,
,, D ,, 15 ,, ,, ,, ,,
,, E ,, 35 ,, ,, ,, ,,

Wie die Länge der wachsenden Region ist also auch die Entfernung der Stelle des Maximalzuwachses bei diesen Luftwurzeln ungefähr 10 mal so gross, wie bei den in Erde wachsenden Nebenwurzeln. — Mit der Länge der Strecke, auf welche sich das Wachsthum hier vertheilt, hält jedoch die Ausgiebigkeit desselben nicht gleichen Schritt; die Gesammtzuwachse sind denen von Erdwurzeln ungefähr gleich, und da sie auf eine ungefähr 10 mal so lange Strecke vertheilt sind, so folgt, dass gleichlange homologe Zonen dieser Luftwurzeln nur ungefähr ein Zehntel des Zuwachses der Erdwurzeln zeigen würden. Diess tritt besonders deutlich hervor, wenn wir die Grösse des Zuwachses in denjenigen Zonen vergleichen, wo die Maximalwerthe liegen; sie ist bei Faba wie p. 590 und p. 591 zeigen, bei den Erdwurzeln 4,0 bis 4,5 Mill. in 24 Stunden, bei den Luftwurzeln 3—4,5 in demselben Zeitraum und bei ähnlicher Temperatur; aber dieser Zuwachs vertheilt sich bei Faba auf eine Zone von ursprünglich 1 Mill.; bei den Luftwurzeln auf eine Zone von ursprünglich 10 Mill. Länge. Wir können dieses Ergebniss auch so ausdrücken, die Curve der Partialzuwachse der beobachteten Luftwurzeln sei viel flacher als die der Erdwurzeln. — Indessen trifft diese Vergleichung eben nur die unmittelbar vorliegenden Beobachtungen; eine tiefer eindringende Untersuchung würde die Luftwurzeln und die Erdwurzeln in gleich feuchter Luft und bei den respectiven Optimaltemperaturen vergleichen müssen. — Zu ähnlichen Betrachtungen führen übrigens auch die folgenden Messungen.

Philodendron Selloum.

Ein kräftiges Exemplar dieser Art mit sechs grossen, ungefähr 1 Meter langen Blättern und einem 10 Ctm. aus der Erde hervorragenden Stamme, aus welchem sieben Luftwurzeln von 7 bis 10 Mill. Dicke entsprangen, wurde in das Zimmer genommen; die längste und dickste Luftwurzel von ungefähr 90 Ctm. Länge wurde von der Spitze aus in Zonen von je 5 Mill. Länge eingetheilt und dann die markirte Endregion in einen Kasten mit Glaswänden, dessen Luft feucht gehalten wurde, eingeführt; das Licht blieb von der beobachteten Stelle der Wurzel ausgeschlossen.

Zonen à 5 Mill.	Zuwachse in 24 St. bei 17,5—20,0° C.
X	0,0 Mill.
IX	0,3 ,,
VIII	0,4 ,,
VII	1,0 ,,
VI	1,2 ,,
V	**2,0** ,,
IV	1,7 ,,
III	1,0 ,,
II	1,0 ,,
Spitze I	0,8 ,,
Gesammtzuwachs	9,4 Mill.

Dieselben Zonen zeigten ferner folgende

	Zuwachse in je 24 Stunden: am 2ten Tag bei 19,1—20,8° C.	am 3ten Tag bei 20,0—22,0° C.
X	0,0 Mill.	0,0 Mill.
IX	0,0 ,,	0,0 ,,
VIII	0,2 ,,	0,0 ,,
VII	0,5 ,,	0,0 ,,
VI	1,3 ,,	0,5 ,,
V	2,0 ,,	2,5 ,,
IV	2,8 ,,	3,5 ,,
III	**3,0** ,,	**5,0** ,,
II	2,0 ,,	3,5 ,,
	1,2 ,,	2,0 ,,
Gesammtzuwachs =	13,0 Mill.	17,0 Mill.

Die Wurzel war horizontal schwebend in den feuchten dunklen Raum eingeführt worden und hatte sich während der Beobachtungszeit schwach abwärts gekrümmt, nämlich so, dass am Ende der ersten 24 Stunden der Krümmungsradius der Oberseite 17 Ctm., am Ende des zweiten Tages 15 Ctm., am Ende des dritten 13 Ctm. betrug; dabei erschien am Ende des ersten Tages das aus den Zonen I bis IV bestehende Stück fast genau als ein Kreisbogen, am Ende des dritten Tages aber erschien die nun verstärkte Krümmung nur noch an den Zonen III bis VI; die verlängerten Zonen I und II bildeten jetzt ein fast grades schief abwärts gerichtetes Stück [1]).

Die Messungen wurden immer auf der convexen Seite (Oberseite) der Wurzel gemacht. Sie zeigen, dass die Gesammtzuwachse mit der täglich zunehmenden Temperatur merklich steigen, ohne jedoch selbst bei einer Mitteltemperatur von nahezu 21° C. (am dritten Tag) mehr als 17 Mill. zu ergeben. Der geringe Gesammtzuwachs von 9,4 Mill. des ersten Tages vertheilt sich aber auf eine wachsende Region von mehr als 40 Mill. Länge, der Zuwachs von 13 Mill. am zweiten Tag vertheilt sich auf eine wachsende Länge von mehr als 56 Mill., der Zuwachs 17 Mill. des dritten Tags auf eine solche von mehr als 59 Mill. Länge. — Man sieht aus diesen Angaben zugleich, dass die Länge der wachsenden Region derselben Wurzel nicht constant ist, sondern mit der Grösse des Gesammtzuwachses zunimmt.

Das Maximum der Partialzuwachse lag in den ersten 24 Stunden in der fünften Zone, also um mehr als 20 Mill. von der Spitze entfernt. Entsprechend dem in §. 19 Gesagten findet sich aber am Ende des zweiten

1) Man vergl. wegen dieser Erscheinungen §. 28 und ferner Flora 1873 No. 21.

und dritten Tages der grösste Zuwachs in der dritten Zone; da sich jedoch die Zonen I,. II, III während dieser Zeit um die Summe ihrer Zuwachse verlängert haben, so zeigt sich bei näherer Betrachtung, dass die Stelle des stärksten Wachsthums dennoch auch jetzt noch um mehr als 20 Mill. hinter der Spitze liegt, ja es scheint, als ob sie jetzt, entsprechend der grösseren Länge der wachsenden Region sogar etwas weiter als am ersten Tage von der Spitze entfernt wäre.

Dass bei den Luftwurzeln der Aroideen die wachsende Region aber auch viel kürzer sein kann, als in den vorigen Fällen, zeigten mir zwei Wurzeln von Philodendron grandifolium, wo ich sie nur 10—15 Mill. lang fand, also nicht viel länger als an den Hauptwurzeln von Faba.

Ueberraschend war mir dagegen die ausserordentliche Länge der wachsenden Region bei zweien, im Gewächshaus ungefähr ein Meter lang herabhängenden 1 Mill. dicken Luftwurzeln von

Vitis velutina.

Zonen anfangs 10 Mill. lang.	Zuwachse in 42 Stunden bei 14—15° C. A	B
X	1,0 Mill.	0,0 Mill.
IX	1,0 ,,	0,6 ,,
VIII	1,8 ,,	1,7 ,,
VII	2,3 ,,	2,4 ,,
VI	2,3 ,,	3,1 ,,
V	2,8 ,,	3,5 ,,
IV	3,0 ,,	3,7 ,,
III	3,0 ,,	3,3 ,,
II	3,0 ,,	3,0 ,,
Spitze I	2,8 ,,	3,0 ,,
Gesammtzuwachs	23,0 Mill.	24,3 Mill.

Die Länge der wachsenden Region betrug also bei A mehr als 90, vielleicht selbst mehr als 100 Mill., bei B mehr als 80 Mill. Die Stelle des raschesten Wachsthums ist aus der Tabelle nicht mehr zu erkennen, da in der zu langen Zeit von 42 Stunden die jüngeren Zonen Zeit gefunden haben, sich beträchtlich zu verlängern, worüber auf §. 19 zu verweisen ist.

Geotropismus der Nebenwurzeln erster Ordnung.

§. 38. Eigenwinkel der Nebenwurzeln. Da es sich im Folgenden darum handelt, den Einfluss zu untersuchen, den die Gravitation und die Centrifugalkraft auf die Wachsthumsrichtung der Nebenwurzeln

ausüben, so war vorher zu entscheiden, welche Richtung die Nebenwurzeln bei ihrem Wachsthum dann einschlagen, wenn sie der geotropischen Einwirkung, so wie jeder anderen äusseren, richtenden Ursache (z. B. dem Heliotropismus) entzogen sind, oder mit anderen Worten, es war zu untersuchen, welche Richtung die Nebenwurzeln bezüglich der Hauptwurzel einschlagen, wenn ausschliesslich die in der Pflanze selbst thätigen Wachsthumsursachen zur Geltung kommen.

Kommt es nun darauf an, die Richtung eines wachsenden Organs vom Heliotropismus unabhängig zu machen, so stehen zwei Wege offen: 1) man kann die ganze Pflanze oder das betreffende Organ während des Wachsens vom Licht ganz abschliessen oder 2) man kann dafür sorgen, dass das wachsende Organ von allen Seiten her gleichmässig beleuchtet wird. Diese allseitig gleichmässige Beleuchtung aber kann dadurch erreicht werden, dass man das einseitig einfallende Licht durch Spiegelung richtig vertheilt, oder dadurch, dass man die Pflanze langsam sich so drehen lässt, dass sie nach und nach alle Seiten dem einfallenden Licht zukehrt.

Handelt es sich dagegen um Ausschliessung geotropischer Krümmungen, so ist man nicht in der Lage, die Schwerkraft, gleich dem Licht, von der Pflanze abzuschliessen; es bleibt daher nur der andere Weg übrig, die Pflanze mit ihren wachsenden Organen so in drehender Bewegung zu erhalten, dass sie nach und nach von allen Seiten her dem Zug der Schwere in gleicher Weise ausgesetzt wird, so nämlich, dass das wachsende Organ niemals Zeit gewinnt, eine geotropische Krümmung nach dieser oder jener Richtung hin zu machen. Dass diese langsame Drehung um eine horizontale Drehungsaxe stattfinden muss, versteht sich bei der verticalen Richtung der Schwere von selbst; dagegen ist es ganz gleichgültig, in welcher Lage die Pflanzen an der Drehungsaxe befestigt sind. Die drehende Bewegung muss so langsam sein, dass eine Centrifugalwirkung nicht zu Stande kommt; diess ist bei meinem bereits §. 4 beschriebenen Apparat schon dadurch ausgeschlossen, dass die Drehung stossweise, den Schwingungen des Pendels am Uhrwerk entsprechend, stattfindet. Unerlässlich ist dagegen zur Erzielung reiner Ergebnisse, dass die Drehungsaxe genau horizontal liegt und dass ihre Belastung allseitig gleich ist, um eine gleichmässige Drehung zu ermöglichen; läge der Schwerpunkt der zu drehenden Last ausserhalb der Axe, so würde die Drehung auf der Seite, welche das grössere Drehungsmoment besitzt, bei dem Aufsteigen langsamer als bei dem Absteigen erfolgen; die sich drehenden Pflanzen würden also der Erde die eine Seite länger als die andere zukehren und so nach längerer Zeit geotropische Krümmungen zeigen.

Bei meinen ersten derartigen Versuchen im Frühjahr 1872 befestigte ich die Keimpflanzen in einem aus Glastafeln zusammengesetzten Recipienten, der hinten und vorn mit Korkscheiben geschlossen war und durch das Uhrwerk um eine horizontale Axe gedreht wurde. Da die Luft in einem

solchen Recipienten niemals ganz mit Wasserdampf gesättigt ist, müssen die Pflanzen täglich ein- bis zweimal neu benetzt, die Drehung also unterbrochen werden. Später ersetzte ich diesen Glasrecipienten, der auch noch eine besondere Verdunkelung verlangte, durch eine leichte cylindrische Trommel von dünnem Zinkblech, die hinten und vorn mit Korkscheiben von kleinerem Durchmesser geschlossen war, durch welche die Drehungsaxe hindurchging. In dieser Trommel waren die Pflanzen nicht nur gut verfinstert, sondern auch beständig in hinreichend feuchter Luft, da sie ein Quantum Wasser enthielt, welches die gleichmässige Drehung nicht hinderte. Zuletzt verwendete ich jedoch eine einfachere Einrichtung, der ich vor den andern den Vorzug gebe: die horizontale Drehungsaxe wurde mit starker Reibung durch eine im Centrum durchbohrte Korkscheibe geschoben, die sich nun wie ein Rad in senkrechter Ebene drehte. Am Umfang derselben werden mit je zwei Nadeln die keimenden Samen oder die Keimpflanzen in verschiedenen Richtungen so befestigt, dass die Last annähernd gleich vertheilt ist, was bei der Stärke des Uhrwerks nicht allzu genau zu sein braucht. Unter dem rotirenden Kork steht ein grosses mit Wasser gefülltes Bassin so, dass die am Kork befestigten Pflanzen bei jeder Umdrehung einen Theil ihres Weges unter Wasser tauchend zurücklegen, dann aber frei in der Luft schweben. Da eine ganze Drehung ungefähr 18 Minuten dauert, und jede Pflanze etwa 1—2 Minuten in Wasser tauchte, so schwebte sie dann 16—17 Minuten in der Luft. So wird eine hinreichende Befeuchtung mit genügendem Luftzutritt für die Athmung zweckmässig verbunden.

Der ganze, ziemlich umfangreiche, auf einem tischähnlichen Gestelle befestigte Apparat steht in einem völlig verfinsterten kleinen Zimmer.

Da man in den Recipienten 10—12, an den Kork der letzten Einrichtung 15—20 keimende Bohnen der grössten Varietäten befestigen kann, so erhält man im Laufe von 3—5 Tagen nicht nur eine hinreichende Zahl von Beobachtungsobjecten, sondern man hat auch zugleich eine genaue Controlle darüber, ob die Rotation immer gleichmässig gewesen ist, wenn man die Keimpflanzen in den verschiedensten Richtungen gegen die Drehungsaxe befestigt, so nämlich, dass die Wurzelspitzen der einen auswärts, die anderer einwärts, die noch anderer schief gegen oder parallel mit der Axe gerichtet sind, indem die einen Wurzelspitzen dem vorderen, die anderen dem hinteren Ende derselben zugekehrt sind. Bei dieser Einrichtung würde eine nicht horizontale Lage der Axe, oder eine nicht gleichmässige Rotation nach 1—2 Tagen sich dadurch verrathen, dass alle Hauptwurzelspitzen geotropische Krümmungen in gleichem Sinne zeigten. Bei keinem der von mir gemachten Versuche war diess der Fall; die Hauptwurzeln machen zwar gelegentlich Krümmungen, die aber von dem Einfluss der Schwere ganz unabhängige Nutationen sind.

Kommt es nun darauf an, die Richtung zu erfahren, in welcher die

Nebenwurzeln aus der Hauptwurzel und dem hypocotylen Stengelglied hervorwachsen, wenn die langsame Rotation die geotropischen Krümmungen hindert, so müssen die Keimpflanzen schon vor dem Sichtbarwerden der Nebenwurzeln in Rotation versetzt werden; denn die Nebenwurzeln erfahren grade bei ihrem Austritt aus dem Mutterorgan kräftige geotropische Krümmungen (s. unten).

Um ganz sicher zu gehen, ist es gerathen, die keimenden Samen schon dann in Rotation zu versetzen, wenn die Hauptwurzeln eben erst aus der Samenschale herausgetreten sind, zu einer Zeit also, wo die Nebenwurzeln noch nicht angelegt oder doch in einem Zustand vorhanden sind, wo an eine geotropische Einwirkung noch nicht zu denken ist. Wenn es in diesem Falle auch nöthig ist, die Pflanzen 5—10 Tage (bei 18—25° C.) in Rotation zu erhalten, so hat man davon doch keine weitere Mühe, als das Uhrwerk täglich ein- bis zweimal aufzuziehen (das meinige läuft beinahe 24 Stunden).

Das Resultat ist bei den verschiedenen drei Einrichtungen in der Hauptsache dasselbe: mag die Lage der Hauptwurzel der langsam rotirenden Keimpflanzen bezüglich der Rotationsaxe sein, welche sie will, so wachsen die Nebenwurzeln erster Ordnung unter bestimmten Winkeln aus jener hervor; des kürzeren Ausdrucks wegen will ich den Winkel, welchen eine Nebenwurzel mit dem jüngeren acroscopen Theil der Hauptwurzel einschliesst und welcher nach dem Gesagten nur von inneren Wachsthumsursachen abhängt, jedenfalls aber von Licht und Schwere unabhängig ist, den Eigenwinkel der Nebenwurzel nennen. Es zeigt sich nun, dass die Grösse dieses Eigenwinkels nicht bei allen Nebenwurzeln erster Ordnung einer Keimpflanze die gleiche ist und dass verschiedene Keimpflanzen derselben Art bezüglich des Eigenwinkels ihrer Nebenwurzeln erhebliche individuelle Verschiedenheiten zeigen. Bei Vicia Faba, Pisum sativum und Phaseolus multiflorus finde ich, dass diejenigen Nebenwurzeln, welche aus der Basis der Hauptwurzel entspringen, vorwiegend gradlinig und unter rechtem Winkel aus der Hauptwurzel herauswachsen; bei ihnen ist also der Eigenwinkel ein rechter; die Nebenwurzeln, welche weiter unten an der Hauptwurzel entspringen, haben dagegen einen spitzen Eigenwinkel; ihre Spitzen sind dem Scheitel der Hauptwurzel mehr oder weniger zugewendet; endlich solche Nebenwurzeln, welche an der Grenze von Wurzel und Stamm, oder aus dem hypocotylen Gliede selbst entspringen, haben dagegen einen stumpfen Eigenwinkel, d. h. ihre Spitze ist dem Gipfel des Keimstengels mehr oder weniger zugekehrt, wie man aus Fig. 23 *A* und *B*, die allerdings nicht nach rotirenden Keimpflanzen gezeichnet ist, wenigstens zum Theil entnehmen kann. Am deutlichsten treten diese Verschiedenheiten des Eigenwinkels an einer und derselben Pflanze, bei Phaseolus hervor, wo auch die Nebenwurzeln erster Ordnung gewöhnlich gradlinig fortwachsen und wo auch ganz gewöhnlich aus dem hypocotylen Gliede



mehrere Nebenwurzeln entspringen. Bei Vicia Faba dagegen sind Nebenwurzeln aus dem hypocotylen Gliede nicht immer vorhanden und wo sie auftreten, kommen sie meist nur vereinzelt zum Vorschein; auch ist es hier häufig der Fall, dass die aus dem Wurzelhals entspringenden Nebenwurzeln nicht rechtwinklig aus der Mutteraxe hervorwachsen, sondern einen spitzen Eigenwinkel darbieten; ferner haben die Nebenwurzeln von Faba eine viel entschiedenere Neigung bogenförmige Gestalt anzunehmen und zwar so, dass wenigstens anfangs immer die convexe Seite des Bogens nach der Lage des Wurzelhalses hinsieht. Aehnlich wie bei Faba gestalten sich die Verhältnisse auch bei Pisum. Die Krümmung dieses Bogens ist übrigens jederzeit eine ziemlich geringe, der Krümmungsradius kann zwischen 2—5 Ctm. wechseln.

Bei fortgesetzter Rotation sah ich wiederholt an Pisum und Faba die Krümmung der aus der Hauptwurzel kommenden Nebenwurzeln sich umkehren, so dass die früher concave Seite jetzt convex wurde, wahrscheinlich eine Folge des Wassermangels bei den in dem Glasrecipienten rotirenden Pflanzen, da auch die Nebenwurzeln nicht rotirender Pflanzen (wie bei Fig. 21) dieselbe Bogengestalt annehmen, wenn sie in feuchter Luft wachsen, die Richtung der Hauptwurzel mag sein, welche sie will (Fig. 23).

Die unterhalb der Wurzelbasis entspringenden bei weitem zahlreichsten Nebenwurzeln einer Pflanze haben gewöhnlich nahezu denselben Eigenwinkel, doch kommen Unregelmässigkeiten in dieser Beziehung nicht selten vor, indem einzelne Nebenwurzeln einen merklich spitzeren oder stumpferen Eigenwinkel als die Mehrzahl der übrigen besitzen und gewöhnlich nimmt die Grösse des Eigenwinkels ab, wenn man von den oberen Nebenwurzeln zu den jüngeren unteren fortschreitet.

Die flache ursprüngliche Bogengestalt der Nebenwurzeln weist darauf hin, dass die convexe Seite in Folge innerer Symmetrieverhältnisse ein wenig stärker wächst als die concave; bei den aus dem hypocotylen Glied entspringenden Wurzeln liegt aber diese stärker wachsende Seite der Nebenwurzeln, wenn wir uns die ganze Pflanze in normaler Lage aufrecht denken, nach unten gekehrt; bei den aus der Hauptwurzel selbst entspringenden, mit spitzem Eigenwinkel versehenen Nebenwurzeln ist es dagegen bei dieser gedachten Lage der Pflanze die Oberseite, welche anfangs convex wird und also stärker wächst. Legen wir unserer Betrachtung also eine Keimpflanze zu Grunde, welche in normaler Lage aufrecht steht, so dass die Spitze der Hauptwurzel abwärts sieht, so können wir nach der früher von Hugo de Vries eingeführten Bezeichnungsweise die obersten aus dem hypocotylen Glied entspringenden Nebenwurzeln als hyponastische, die aus der Hauptwurzel selbst entspringenden aber als epinastische bezeichnen; die an der Grenze von Wurzel und hypocotylem Glied, oft rechtwinklig und geradeaus fortwachsenden Nebenwurzeln dagegen, die besonders bei Phaseolus häufig vorkommen, sind weder hyponastich noch epinastisch, sie

könnten als neutrale bezeichnet werden; bei Faba sind solche neutrale Nebenwurzeln ziemlich selten [1]).

Die Stärke der Hyponastie und Epinastie der Nebenwurzeln bestimmt einerseits den Krümmungsradius derselben, andrerseits, insofern die Krümmung schon an der Basis der Nebenwurzeln eintritt, hängt davon auch die Grösse der Eigenwinkels ab. Da es jedoch vorkommt, dass der Eigenwinkel ein spitzer oder stumpfer ist, ohne dass eine erhebliche Krümmung wahrzunehmen ist, so scheint es, dass der Eigenwinkel auch ohne die Intervention der Hyponastie und Epinastie eine bestimmte Grösse erreichen kann, oder dass die Krümmung nur an der Basis der Nebenwurzeln, also in frühester Jugend stattfindet, worauf die Wurzeln gradlinig weiter wachsen.

Gewöhnlich ist der Bogen ein so flacher, dass man wenigstens bei Wurzeln von 2—4 Ctm. Länge die Bogengestalt vernachlässigen und sie bei der Beurtheilung des Eigenwinkels als gradlinig betrachten kann. Die Grösse dieses Eigenwinkels ist nun, wie schon erwähnt, bei den aus einer Hauptwurzel selbst entspringenden Nebenwurzeln ziemlich constant; vergleicht man aber verschiedene Exemplare derselben Species, die gleichzeitig der Rotation unterworfen waren, so findet man den Eigenwinkel bei verschiedenen Pflanzen sehr verschieden gross; bei manchen Exemplaren von Faba und Pisum beträgt er nahezu 45°, bei anderen 60—70°, zuweilen sogar 80—90°, weniger variabel scheint dieses Verhalten bei Phaseolus zu sein, wo der Eigenwinkel der unterhalb des Wurzelhalses entsprungenen Wurzeln meist 70—80° beträgt. Für die Beurtheilung der geotropischen Krümmungen ist es sehr wichtig, diese individuellen Verschiedenheiten des Eigenwinkels der Nebenwurzeln zu kennen, weil man ohne die Kenntniss dieser Thatsache leicht in Irrthümer verfallen kann.

Die Keimpflanzen von Cucurbita Pepo habe ich versäumt bei langsamer Rotation wachsen zu lassen; aus dem Verhalten der in feuchter Luft, in Wasser und in Erde sich entwickelnden Nebenwurzeln kann man aber mit Sicherheit schliessen, dass hier ganz ähnliche Verhältnisse, wie bei den genannten Leguminosen obwalten, dass zumal die oberhalb der Wurzelbasis entspringenden Nebenwurzeln hier ganz gewöhnlich stark hyponastisch sind, da sie bei normal aufrechter oder umgekehrter Lage der Keimpflanze einen mit dem Stengelglied spitzen Winkel bilden, also einen stumpfen Eigenwinkel haben. Die aus der Hauptwurzel selbst entspringenden Nebenwurzeln sind auch bei Cucurbita epinastisch mit spitzem Eigenwinkel von 50—80°.

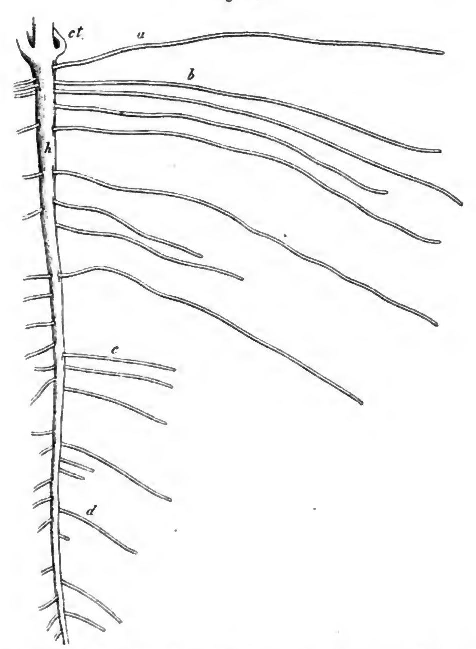
1) Mit Rücksicht auf das Mutterorgan sind eigentlich auch die oben als epinastisch bezeichneten Nebenwurzeln hyponastich, wenn wir nämlich die Wurzelbasis so wie die Stengelbasis als unten bezeichnen; ich vermeide jedoch diese der inneren Symmetrie der Pflanze angemessenere Ausdrucksweise, weil sie bei der Beschreibung sehr leicht zu Missverständnissen führen könnte.



§. 39. Nachweis, dass die Nebenwurzeln erster Ordnung geotropisch sind.

Dass die Nebenwurzeln erster Ordnung, welche aus Hauptwurzeln entspringen, ebenso wie die aus Stämmen, Knollen, Zwiebeln austretenden Nebenwurzeln positiv geotropisch sind, wird zwar, wie es scheint, von

Fig. 22.



Vicia Faba in Erde hinter Glaswand gewachsen. *ct* Stiele der Cotyledonen; *a* Nebenwurzel aus dem hypocotylen Glied, *b* aus der Wurzelbasis entspringend; *cd* tiefere Nebenwurzeln, *h* Hauptwurzel.

den meisten Botanikern stillschweigend angenommen; mir ist aber nicht bekannt, dass irgend Jemand einen Beweis dafür geliefert, einen Versuch zur Bestätigung dieser Annahme gemacht habe.

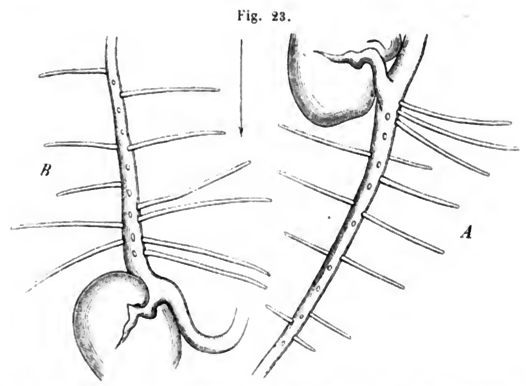
Lässt man die Wurzelsysteme der genannten Leguminosen oder von Cucurbita oder Zea in einem Erdkasten wie Fig. 1 *C* sich entwickeln oder

befestigt man die Keimpflanzen in einem Cylinder wie Fig. 1 *A* in normaler senkrechter Lage so, dass die Hauptwurzel ganz in Wasser hängt, so wachsen die Nebenwurzeln der letzteren gerade aus oder in abwärts concavem, sehr flachem Bogen schief nach unten, so dass der Winkel, den sie mit der senkrechten Hauptwurzel also auch mit der Richtung der Schwere einschliessen, ein spitzer ist, dessen Grösse zwischen 50 und 80° schwanken kann. Die aus dem hypocotylen Glied entspringenden Nebenwurzeln dagegen wachsen schief aufwärts, sie können weiterhin über die Erdoberfläche hervortreten (Fig. 36) oder sich über das Niveau des Wassers aufsteigend erheben. Die Abwärtsrichtung der Mehrzahl der Nebenwurzeln in solchen Fällen ist ebensowenig ein Beweis für ihren positiven Geotropismus, wie die schiefe Aufwärtsrichtung der stammbürtigen Nebenwurzeln nicht etwa als ein Zeichen von negativem Geotropismus gelten darf; vergleicht man nämlich die Winkel, welche die verschiedenen Nebenwurzeln mit der senkrechten Axe der Mutterpflanze bilden, mit dem Eigenwinkel homologer Nebenwurzeln, welche sich während langsamer Rotation gebildet haben, so kommt man zu dem Schluss, dass das, was wir auf den ersten Blick als eine Folge geotropischer Einwirkung betrachten könnten, vielleicht nur dem Eigenwinkel entspricht, der, wie wir gesehen haben, an den Nebenwurzeln derselben Pflanze verschieden ist und bei verschiedenen Individuen derselben Species zwischen circa 45 und 80° schwanken kann. Man bleibt also zunächst im Ungewissen, ob die Richtungen der Nebenwurzeln aus einer senkrecht in Erde oder in Wasser wachsenden Hauptwurzel bloss aus inneren Symmetrieverhältnissen entspringen oder ob dabei der Geotropismus mitgewirkt hat.

Dazu kommt aber noch eine andere Wahrnehmung, die, wie es scheint, Niemand beachtet hat; wenn nämlich die im Wasser oder in feuchter Erde aus senkrechter Hauptwurzel entspringenden Nebenwurzeln in derselben Weise geotropisch wären, wie es die Hauptwurzeln sind, so müsste man erwarten, dass sie sich gleich diesen so lange abwärts krümmen, bis ihre Spitze senkrecht hinabgerichtet ist, um dann gradlinig nach unten fortzuwachsen; statt dessen aber bemerkt man, dass die Nebenwurzeln schon, wenn sie eine gewisse schiefe Richtung, ja eine oft nur geringe Neigung gegen den Horizont (Fig. 22) erreicht haben, mehr oder weniger gradlinig fortwachsen, wenn man nämlich von gelegentlichen Störungen, welche die Rauhheiten der Erde veranlassen, absieht. Würde man kräftig wachsende Hauptwurzeln, zumal in feuchter Erde in dieselbe schiefe Lage bringen, in welcher die Nebenwurzeln geradeaus fortwachsen, so würden sich jene abwärts krümmen, bis ihre Spitzen senkrecht gestellt wären, um erst dann wieder geradeaus zu wachsen. Diese Betrachtungen könnten also zu dem Schluss verleiten, dass die Nebenwurzeln überhaupt nicht geotropisch sind und zu ähnlichen Schlussfolgerungen würde man bei den aus den Zwiebeln und Knollen entspringenden Wurzeln gelangen. Noch mehr bestärkt könnte

man in dieser Annahme werden, wenn man die Nebenwurzeln in feuchter Luft, zumal ohne Benetzung sich entwickeln lässt.

Fig. 23.



Vicia Faba in feuchter Luft gewachsen, *A* in schief aufrechter, *B* in umgekehrter Lage.

Werden Keimpflanzen der genannten Arten, nachdem ihre Hauptwurzel 5—10 Ctm. Länge erreicht hat und bevor die Nebenwurzeln ausgetreten sind, in einem Culturcylinder wie Fig. 1 *A* so befestigt, dass die austretenden Nebenwurzeln sich nur in feuchter Luft entwickeln können, gleichgültig ob man dabei der Hauptwurzel die normale oder umgekehrte oder eine horizontale Lage giebt, so schlagen die Nebenwurzeln Richtungen ein, welche denen bei langsamer Rotation entsprechen, mit dem Unterschied jedoch, dass hier eine grössere Neigung zur rechtwinkligen Stellung gegen die Hauptwurzel hervortritt, wie es Fig. 23 *A* und *B* zeigt. In solchen Fällen ist gewöhnlich nicht die leiseste Spur einer geotropischen Krümmung zu erkennen, selbst dann, wenn man in diesen Dingen eine lange Uebung besitzt. Diesen Beobachtungen darf man jedoch keinen allzugrossen Werth für die Frage nach dem Geotropismus der Nebenwurzeln beilegen, denn schon in § 26 habe ich gezeigt, dass auch die Hauptwurzeln, wenn sie in feuchter Luft ohne hinreichende Benetzung wachsen, nur sehr unvollkommene oder gar keine geotropische Krümmungen machen. Es kann also bei unseren in Luft entwickelten Nebenwurzeln der Mangel geotropischer Krümmung dem Wassermangel oder überhaupt dem ungewohnten Medium zugeschrieben werden.

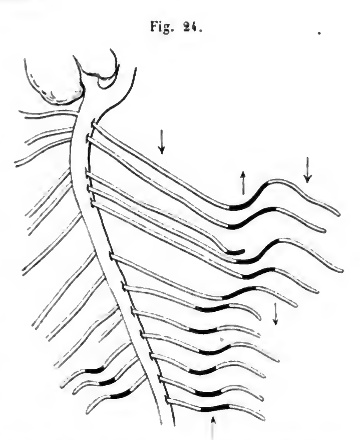
Nach dem bisher Mitgetheilten liegt die Sache demnach so, dass wir aus den zuerst genannten Beobachtungen überhaupt nicht schliessen können, ob die Nebenwurzeln geotropisch sind, während die zuletzt erwähnten

Beobachtungen uns doch nicht berechtigen, ihnen den Geotropismus wirklich abzusprechen.

Und dennoch sind diese Nebenwurzeln wirklich positiv geotropisch, wenn auch in geringerem Grade und in etwas anderer Weise als die Hauptwurzeln, wie die folgenden Beobachtungen zeigen werden.

Wenn man die Keimpflanzen in dem Culturcylinder Fig. 1 *A* so befestigt, dass die schon 8—10 Ctm. lange Hauptwurzel mit der Spitze senkrecht aufwärts gerichtet ist oder so, dass sie horizontal liegt, und wenn man täglich für zwei- bis dreimalige Benetzung sorgt, dann erfolgen sehr deutliche Krümmungen an den nach verschiedenen Richtungen aus der Hauptwurzel hinaus wachsenden Nebenwurzeln, im Sinne geotropischer Krümmungen, jedoch mit der Eigenthümlichkeit, dass sie niemals bis zur Verticalstellung der Nebenwurzeln fortgesetzt werden, worauf ich weiter unten noch ausführlich zurückkomme.

Fig. 24.



Vicia Faba in Erde hinter Glaswand gewachsen, anfangs in normaler, dann in umgekehrter, zuletzt wieder in normaler Stellung, die Pfeile zeigen, in welcher Richtung die Schwere die Nebenwurzeln in den verschiedenen Lagen traf.

Noch deutlicher werden die geotropischen Krümmungen, wenn man das Wurzelsystem in einem Erdkasten wie Fig. 1 *C* hinter einer Glaswand sich entwickeln lässt, so dass die Hauptwurzel in der lockeren feuchten Erde senkrecht abwärts wächst. Haben nun die Nebenwurzeln eine Länge von 1—5 Ctm. erreicht, indem sie schief abwärts und nahezu gradlinig an der Glaswand hinlaufen, und kehrt man nun den Erdkasten so um, dass die Hauptwurzelspitze nach oben gerichtet wird, wobei man für eine hinreichende Ueberneigung der Glaswand sorgt, so krümmen sich sämmtliche Nebenwurzeln an ihren fortwachsenden Enden abwärts, ohne jedoch jemals ihre Spitzen senkrecht zu stellen; wird der Kasten nun abermals umgedreht, so dass das Wurzelsystem wieder seine ursprüngliche normale Stellung gewinnt, so erscheinen nun die Wurzelenden zunächst schief aufwärts gerichtet; sie krümmen sich aber nach einigen

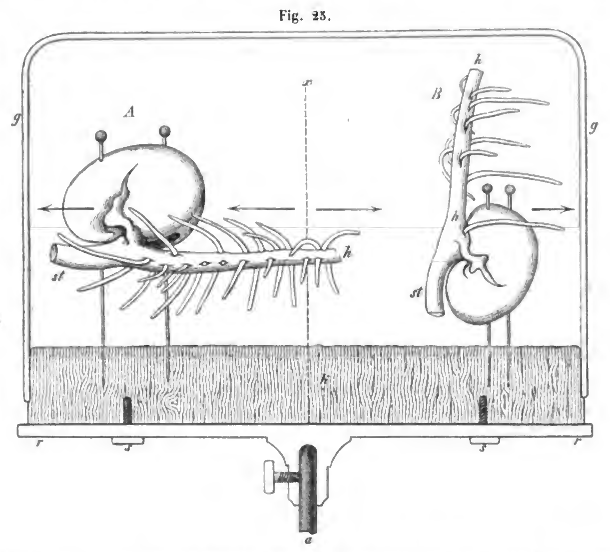
Stunden, indem sie weiter wachsen, wieder abwärts, und wenn die Spitzen ungefähr wieder denselben Winkel mit der Verticalen bilden, unter welchem sie vor der ersten Umdrehung fortgewachsen waren, so wachsen sie nun wieder schief gradlinig fort. In dieser Weise wurde z. B. das in Fig. 24 abgebildete Wurzelsystem von Faba behandelt, wo die geschwärzten Theile der Nebenwurzeln diejenigen Partieen darstellen, welche während der inversen Lage der Pflanze zugewachsen sind, wo also die Schwerkraft im Sinne des hier aufwärts gerichteten Pfeiles eingewirkt hat; kehrt man das vorliegende Buch so um, dass dieser Pfeil abwärts gerichtet erscheint, so hat man das Bild in derselben Lage, wie die Pflanze zu der Zeit, wo die Nebenwurzeln sich abwärts gekrümmt haben und die hier geschwärzten Theile derselben gewachsen sind.

Diese Versuche, welche leicht anzustellen sind und jedes Mal gelingen, zeigen, dass die Erdwurzeln in ihrem natürlichem Medium geotropische Krümmungen machen, wenn auch die Krümmung aufhört, noch bevor die Wurzelspitzen eine senkrecht abwärts gehende Richtung erreicht haben. Wenn also die in feuchter Luft ohne Benetzung wachsenden Nebenwurzeln diese Erscheinung gewöhnlich nicht zeigen, so ist diess nur ein Beweis abnormen Verhaltens. Ganz ähnlich wie bei den genannten Pflanzen verhalten sich übrigens auch die in Erde wachsenden Nebenwurzeln der Zwiebeln von Allium Cepa und der Knollentriebe von Solanum tuberosum. Stellt man Halme von Phragmites arundinacea in eine geeignete wässrige Nährstofflösung oder in gewöhnliches Wasser, so brechen aus den unteren Knoten Quirle von Wurzeln hervor, welche in ziemlich scharfen Bogen abwärts biegen. Um diese Wurzeln aus auf den Kopf gestellten Phragmites-Halmen herauswachsen zu lassen, wurden diese mit ihrem Basaltheil in die Oeffnung eines Korkes fest eingeschoben, der Kork auf den Hals einer tubulirten Glocke gesetzt, das Ganze umgekehrt und in die Glocke soviel Nährlösung oder Wasser eingefüllt, dass der innerhalb der Glocke aufwärts gerichtete Basaltheil ganz von Flüssigkeit umgeben war. Auch in dieser Stellung brachen aus dem entsprechenden Knoten Quirle von Nebenwurzeln hervor, welche in diesem Fall erst eine Strecke horizontal fortwuchsen, dann aber im Bogen abwärts gingen und sich so lange krümmten, bis ihre Spitzen fast senkrecht abwärts gerichtet waren. Es sind also auch diese aus den Schilfhalmen entstehenden Nebenwurzeln geotropisch ebenso wie die aus den unteren Stammknoten von Zea Mais entspringenden.

Endlich kann auch die Wirkung der Centrifugalkraft auf die Nebenwurzeln erster Ordnung als ein Beweis für ihren Geotropismus angeführt werden. Um die sich entwickelnden oder schon vorher bis zu einer gewissen Länge herangewachsenen Nebenwurzeln der Einwirkung der Fliehkraft auszusetzen, benutzte ich ein Laufwerk mit circa 60 Pfund schwerem Gewicht, welches durch zwei Stockwerke hinabfallen kann und 10—12 Stunden lang das Räderwerk in Bewegung hält, wenn die letzte sich dre-

hende Axe in einer Secunde 4—5 Umdrehungen macht. Auf diese Axe *a* (Fig. 25) wird der aus Messing gearbeitete, einem Speichenrad ähnliche Halter *rr* mittelst seiner centralen Hülse aufgesetzt, nachdem auf demselben die kreisrunde Korkscheibe *k* mittelst der Schrauben *ss* befestigt

Fig. 25.



Vicia Faba in dem um senkrechte Axe rasch rotirenden Recipienten gewachsen; der Versuch begann, als die Nebenwurzeln noch nicht ausgetreten waren. — *st* Stengel, *h* Hauptwurzel; beide abgeschnitten.

worden ist. Vor Beginn des Versuches muss der Kork mit Wasser durchtränkt sein; die Keimpflanzen *A*, *B* werden mit je zwei Nadeln über dem Kork schwebend in verschiedenen Stellungen befestigt und nun eine innen mit feuchtem Filtrirpapier ausgeschlagene Glasglocke *gg* über das Ganze so gestülpt, dass die Glocke durch die Korkscheibe fest verschlossen wird. Die Grösse der Fliehkraft, welche in diesem nunmehr um eine verticale Axe rotirenden Recipienten auf eine gegebene Nebenwurzel einwirkt, hängt bekanntlich von der Umdrehungszeit des Recipienten (t) und von dem Rotationsradius (R), d. h. von der Entfernung der betreffenden Nebenwurzel von der Rotationsaxe ($a\,x$) in der Weise ab, dass die Beschleunigung der Fliehkraft $f = \frac{4\pi^2 R}{t^2}$ ist. In dem durch unsere Figur repräsentirten

Falle betrug der Rotationsradius für die Nebenwurzeln von B und für die ältesten Nebenwurzeln von A ungefähr 40 Mill., die Beschleunigung der Fliehkraft f war daher bei fünfmaliger Umdrehung des Recipienten in der Secunde viermal so gross, als die Beschleunigung der Schwere, wenn man den Werth $g = 9800$ Mill. setzt. Bei der Mehrzahl meiner Versuche verwendete ich indessen einen umfangreicheren Recipienten, der nahezu vier Drehungen in der Secunde ausführte und 80 Mill. Radius besass, so dass für die zu beobachtenden Nebenwurzeln im Maximum ein Rotationsradius von etwa 65 Mill. zu gewinnen war, im Maximum also für die am günstigsten situirten Nebenwurzeln die Beschleunigung der Fliehkraft ungefähr vier mal so gross wurde, als der Werth g.

Damit die Nebenwurzeln hinreichend kräftig wachsen, muss die Lufttemperatur 18—25° C. betragen, und müssen die Wurzeln täglich zwei bis drei mal benetzt werden. Letzteres geschieht am besten in der Weise, dass man den Träger $r\ r$ von der Rotationsaxe a abnimmt, den Kork sammt den Pflanzen von der Glocke abhebt und ihn auf ein mit Wasser gefülltes Gefäss so auflegt, dass die Pflanzen in dieses vollständig eintauchen; es genügt eine etwa 5 Minuten lange Benetzung in dieser Art, um nach Ueberstülpung der Glocke die Rotation wieder eintreten zu lassen.

Ohne auf die Ergebnisse dieser Versuche hier ausführlich einzugehn, will ich nur hervorheben, dass die Wirkung der Fliehkraft jederzeit eine durchaus deutliche ist, dass die wachsenden Wurzelspitzen ähnlich wie bei den Hauptwurzeln sich um so kräftiger nach aussen zu kehren suchen, je grösser ihr Rotationsradius und je rascher die Drehung, d. h. je grösser die Fliehkraft ist. Die Auswärtskrümmung der Nebenwurzeln erfolgt in jeder Lage, welche man der Hauptwurzel vor dem Versuch giebt; nur muss selbstverständlich bei Beurtheilung der Richtung, welche die Nebenwurzeln in dem rasch rotirenden Recipienten einschlagen, der Umstand in Betracht gezogen werden, dass sie zugleich der Schwerkraft mit unterliegen, ihre Richtung also aus der gleichzeitigen Wirkung der Fliehkraft und Schwerkraft resultirt; aus diesem Grunde sieht man z. B. dass die abwärts gerichteten Nebenwurzeln der Pflanze A (Fig. 25) mit der Hauptwurzel einen grösseren Winkel bilden, als die auf der Oberseite derselben entspringenden, denn indem die Schwere jene sowohl wie diese abwärts zu richten sucht, werden jene von der Hauptwurzel gewissermaassen hinweggebogen, diese dagegen ihr genähert. — Es leuchtet ein, dass die Fliehkraft für jede einzelne Nebenwurzel in Betracht gezogen werden muss, da ihre Entfernungen von der Rotationsaxe je nach der Lage der Keimpflanze sehr verschieden sein können; Fig. 25 A zeigt z. B. ziemlich deutlich, wie die von der Rotationsaxe $x\ x$ ferneren Nebenwurzeln stärker gekrümmt sind als die ihr näheren. Eine ausführliche Betrachtung dieser

Verhältnisse liegt hier jedoch ausserhalb meiner Absicht, die nur dahin geht, zu zeigen, dass die Nebenwurzeln erster Ordnung in demselben Sinne geotropisch sind und der Fliehkraft unterliegen, wie die Hauptwurzeln; auf einige andere Ergebnisse komme ich in einem der folgenden Paragraphen zurück.

Die bisher angeführten Thatsachen werden nun gewiss keinen Zweifel darüber lassen, dass Gravitation und Centrifugalkraft an den wachsenden Nebenwurzeln Krümmungen veranlassen und zwar in demselben Sinne, wenn auch nicht in demselben Maasse wie bei den Hauptwurzeln, dass wir also berechtigt sind, diese Nebenwurzeln als positiv geotropisch zu betrachten. Indem ich auf die Verschiedenheit des geotropischen Verhaltens der Nebenwurzeln gegenüber dem der Hauptwurzeln noch zurückkomme, will ich hier noch ausdrücklich auf eine Erscheinung hinweisen, die im Vorhergehenden schon gelegentlich berührt worden ist, ich meine die auffallende Unfähigkeit der Nebenwurzeln sich abwärts zu krümmen, wenn sie sich in feuchter Luft ohne häufige Benetzung entwickeln; besonders auffallend ist dabei noch die Erscheinung, dass die Nebenwurzeln sehr verschiedener Pflanzen in feuchter Luft die Neigung haben eine zu ihrer Hauptwurzel nahezu rechtwinklige Stellung und bei längerem Wachsthum eine flache, nach dem Stengel hin concave Bogenform anzunehmen, bei welcher ihre organische Unterseite convex wird, wie z. B. Fig. 21 und 23 erkennen lässt. Die Erscheinung wird ganz besonders auffallend dann, wenn man bei Fig. 21 die in Wasser und die in Luft entwickelten Nebenwurzeln bezüglich ihrer Richtung vergleicht oder wenn man Fig. 23 *A* (in Luft gewachsen) mit Fig. 22 und 26 (in Erde gewachsen) vergleicht; ganz ebenso verhält es sich bei Pisum und bei Zea Mais; bis zu einem gewissen Grade besteht auch sogar bei den in Wasser wachsenden Nebenwurzeln diese Neigung, mit der Hauptwurzel einen grösseren Winkel zu bilden und gegen den Geotropismus mehr oder weniger unempfindlich zu werden. Bei den Nebenwurzeln tritt diess viel auffallender hervor als bei den Hauptwurzeln, für welche ich ein ähnliches Verhalten bereits §. 26 betrieben habe; besonders auffallend fand ich es bei den Nebenwurzeln von Zea Mais; tauchte die Hauptwurzel so in Wasser, dass der obere 3—4 Ctm. lange Theil in feuchter Luft blieb, so wuchsen die aus diesem entspringenden Nebenwurzeln ganz horizontal, die im Wasser entspringenden bildeten einen Winkel von circa 70—80° mit dem unter ihnen liegenden Theil der Hauptwurzel, auch wo diese nicht ganz vertical war; die in der Erde hinter Glaswand gewachsenen Nebenwurzeln dagegen machten mit der senkrechten Hauptwurzel einen Winkel von circa 45°. — Ich wage jetzt noch nicht, über die Ursache dieses mangelhaften Geotropismus in Luft und Wasser mich auszusprechen; hier genügt es, darauf hinzuweisen, dass wenn man den Geotropismus der Nebenwurzeln in seiner normalen Form studiren will, man gerade so wie bei den Hauptwurzeln

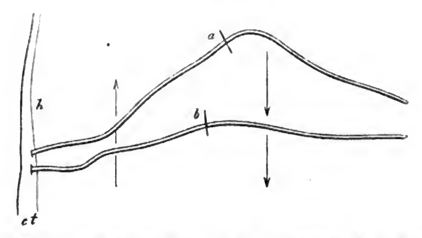
die in feuchter lockerer Erde wachsenden Nebenwurzeln benutzen muss, wodurch die Beobachtung allerdings sehr erschwert wird.

§. 40. Die krümmungsfähige Region und Form der Krümmung. So wie bei der Hauptwurzel ist es auch bei den Nebenwurzeln erster Ordnung die ganze wachsende Region von 4—6 Mill. Länge, welche die geotropische Krümmung annimmt oder durch die Wirkung der Centrifugalkraft gekrümmt wird. So wie dort ist auch hier die Krümmung nur anfangs, wo sie noch sehr schwach ist, eine scheinbar kreisbogenförmige, mit fortschreitender Einwirkung der krümmenden Kraft zeigt sich aber auch hier, dass die am raschesten wachsenden Querzonen sich auch am stärksten krümmen, dass also die Krümmung von dieser Stelle aus sowohl nach der Spitze hin wie auch nach rückwärts hin sich continuirlich abflacht. Es lässt sich ferner zeigen, dass die bei der Hauptwurzel dargestellte Bedeutung des Neigungswinkels auch hier ganz in derselben Weise in Betracht kommt und dass man bei Beurtheilung der Länge der gekrümmten Region darauf zu achten hat, dass die hinteren Querzonen schon aufhören können zu wachsen, also auch aufhören krümmungsfähig zu sein, bevor eine deutliche Krümmung an ihnen zu Stande kommt, weshalb man die deutlich gekrümmte Region gewöhnlich etwas kürzer findet als die wachsende Region. Sowie bei der Hauptwurzel muss auch hier zur Beurtheilung der Krümmungsform mit in Betracht gezogen werden, dass der Neigungswinkel der vorderen Querzonen horizontaler Nebenwurzeln sich vermindert dadurch, dass die weiter hinten liegenden sich krümmen. Da ich diese Verhältnisse bei der Krümmung der Hauptwurzel §. 28 und die entsprechenden Verhältnisse auch bei den geotropischen Krümmungen der aufrechten Stengel in der Flora 1873 No. 21 hervorgehoben habe, so wird es nicht nöthig sein, hier noch einmal darauf ausführlich zurückzukommen, jedoch ist auch hier wieder auf den später noch ausführlich zu besprechenden Punkt hinzuweisen, dass zwischen der Hauptwurzel und ihren Nebenwurzeln insofern ein auffallender Unterschied besteht als die letzteren ihre Krümmung nur so lange fortsetzen, bis die Wurzelspitze einen gewissen Winkel mit der Richtung der Schwere oder der Centrifugalkraft bildet, dann hört die weitere Krümmung auf und die Wurzel wächst gerade fort, obgleich sie die Richtung der Schwere oder der Centrifugalkraft noch nicht gewonnen hat.

Zur Erläuterung des Gesagten diene zunächst Fig. 26, wo *h* die Hauptwurzel und *ct* das hypocotyle Glied von Phaseolus multiflorus darstellt, *a* und *b* zwei Nebenwurzeln bedeuten. Die Pflanze war aufrecht in gewöhnlicher Weise in Erde gewachsen, die Wurzelspitze abwärts gekehrt, die beiden Nebenwurzeln hatten sich bis zu den Punkten *a* und *b* schief abwärtsgehend entwickelt; man würde die wahren Richtungsverhältnisse auch hier dadurch gewinnen, wenn man das vorliegende Buch so umkehrt, dass

der in der Figur aufwärts gerichtete Pfeil senkrecht abwärts gerichtet erscheint. Als die Nebenwurzeln mit ihren Spitzen die Punkte *a* und *b* erreicht hatten, wurde ihre Lage mit je einem Papierindex an der Glaswand

Fig. 26.



Phaseolus multiflorus, zwei Nebenwurzeln einer Hauptwurzel (*h*) in Erde hinter Glaswand gewachsen.

bezeichnet, der Kasten umgekehrt und der betreffenden Seite desselben die nöthige Ueberneigung gegeben und so die Nebenwurzeln gezwungen, auch fernerhin der Glaswand angeschmiegt, weiter fortzuwachsen; die Richtung, in welcher nunmehr die Schwerkraft auf die Nebenwurzeln einwirkte, ist durch den in der Figur abwärts gekehrten Pfeil angedeutet. Die Figur zeigt uns, in welcher Richtung die Wurzeln während der nächsten vier Tage bei 15 — 18° C. fortgewachsen sind. Unmittelbar nach der Umkehrung begann die Abwärtskrümmung, und als die Wurzelspitzen einen gewissen Winkel mit der Verticalen gewonnen hatten, wuchsen sie annähernd gradeaus, denn die kleinen wellenförmigen Schwingungen derselben, welche sie in ihrem Verlauf sowohl vor wie nach der geotropischen Krümmung zeigen, können wir als durch die Rauhigkeit und den Widerstand der Erde veranlasste Nebenerscheinungen hier unbeachtet lassen. Man bemerkt, dass die beiden Nebenwurzeln sich nach der Umkehrung in verschiedener Weise gekrümmt haben; die Wurzel *a*, welche vor der Umkehrung stärker abwärts gewachsen war, hat sich jetzt auch stärker als die andere abwärts gekrümmt und bei beiden hat die geotropische Krümmung aufgehört, als die fortwachsende Wurzelspitze wieder denselben Winkel mit der Verticalen eingeschlagen hatte, den sie vor der Umkehrung mit derselben bildete; die beinahe horizontal gewachsene Wurzel *b* wurde daher durch den Geotropismus zu einer viel flacheren Krümmung veranlasst, als die vorher stärker geneigte Wurzel *a*.

Ganz ähnlich wie dieses Beispiel es erläutert, verhalten sich auch die in Erde wachsenden Nebenwurzeln von Faba, Allium Cepa, Solanum tuberosum, Cucurbita Pepo, Zea Mais.

Schon bei dieser Beobachtungsmethode erkennt man, wenn man nach der Umkehrung wenigstens stündlich einmal beobachtet, dass es eine 4—6 Mill. lange Region der Wurzelspitze ist, nicht aber bloss eine bestimmte schmale Querzone, in welcher die geotropische Krümmung auftritt. Dasselbe zeigt sich, wenn man die Nebenwurzeln mit Querstrichen versieht, um die Länge der wachsenden und die der krümmungsfähigen Region direct vergleichen zu können. Doch ist es kaum möglich solche mit schwarzen Farbestrichen versehene Nebenwurzeln, die ja doch mit der ganzen Keimpflanze in Verbindung bleiben mussten, so in feuchte lockere Erde hinter eine Glaswand zu legen, wie ich es bei den Hauptwurzeln beschrieben habe; ich musste mich damit begnügen, die Keimpflanzen, an denen ich einige der oberen Nebenwurzeln in der angegebenen Weise markirt hatte, so in einem Culturcylinder zu befestigen, dass die betreffenden Nebenwurzeln entweder in Wasser tauchten oder doch häufig von solchem benetzt werden konnten, da ohne Benetzung entweder gar keine oder nur abnorme, knieförmige Krümmungen eintreten. Es wird nicht überflüssig sein, einige Beispiele ausführlicher mitzutheilen.

Eine Keimpflanze von Faba war vor dem Austritt der Nebenwurzeln in einem Culturcylinder in umgekehrter Lage so befestigt werden, dass die Hauptwurzel aufwärts gerichtet war; in dieser Lage entwickelten sich nun aus ihr die Nebenwurzeln; als die der Wurzelbasis benachbarten 7—8 Mill. lang waren, wurde die Pflanze herausgenommen und drei dieser Nebenwurzeln wie gewöhnlich in 1 Mill. lange Zonen (deren erste auch die ganze Wurzelhaube umfasste) eingetheilt; darauf wurde die Pflanze in dem Cylinder so befestigt, dass die Hauptwurzelspitze abwärts gerichtet, also die ganze Pflanze normal gestellt war. Da die Nebenwurzeln in der früheren umgekehrten Lage der Pflanze sich ein wenig schief abwärts gerichtet hatten, so waren sie also nach der beschriebenen Umkehrung jetzt etwas aufgerichtet. Bei wiederholter Benetzung trat nun binnen sieben Stunden eine deutliche Abwärtskrümmung ein, die, soweit es sich beurtheilen liess, die ganze wachsende Region umfasste, innerhalb der am stärksten gewachsenen 2—3 Zonen aber den kleinsten Krümmungsradius von 3—4 Mill. zeigte. Die Zuwachse in diesen 7 Stunden waren bei den Wurzeln A, B, C bei 24—26° C. folgende:

Zone	A	B	C
VI	0,0 Mill.	0,0 Mill.	0,0 Mill.
V	0,2 ,,	0,0 ,,	0,0 ,,
IV	0,3 ,,	0,3 ,,	0,2 ,,
III	0,6 ,,	0,6 ,,	0,3 ,,
II	0,5 ,,	0,4 ,,	0,8 ,,
Spitze I	0,0 ,,	0,0 ,,	0,0 ,,

Bei derartigen Versuchen beobachtet man auch, dass die geotropische Krümmung, wenn die Wurzeln längere Zeit in feuchter Luft oder Wasser fortwachsen, ähnlich wie bei den Hauptwurzeln wieder flacher wird und auch hier leuchtet ein, dass diese Aenderung innerhalb der Erde nicht eintretet kann. Daher findet man bei einem Versuch wie der vorige, wenn man eine längere Zeit zwischen der Markirung und der Beobachtung verstreichen lässt, auch einen flacheren Bogen; so zeigte beispielsweise eine bei 17,7° C. in Luft 24 Stunden lang gewachsene Nebenwurzel einen kleinsten Krümmungsradius von 15 Mill. und die anfangs 1 Mill. langen Querzonen ergaben folgende Zuwachse:

Zone	
V	0,2 Mill.
IV	0,2 „
III	1,5 „
II	2,3 „
Spitze I	0,3 „

Auch in diesem Fall umfasste die Krümmung die ganze wachsende Region.

Ganz entsprechend fand ich die Verhältnisse bei der Einwirkung der Centrifugalkraft. Zwei Exemplare von Faba wurden in den grossen Recipienten so befestigt, dass die beobachtete Nebenwurzel *A* der einen einen Rotationsradius von 40 Mill., die Nebenwurzel *B* einen solchen von 70 Mill. anfangs hatte, während der Recipient 4 Umdrehungen in der Secunde machte. Temperatur 24—25° C. Es ist noch zu bemerken, dass die Wurzel *A* aus horizontaler radial gelegter Hauptwurzel entspringend sich an der letzteren zurückkrümmen musste; dass dagegen *B* aus vertical umgekehrter Hauptwurzel hervorwachsend sich von rechts nach vorn an der Pflanze seitwärts krümmen musste.

In 7 Stunden erfolgten folgende Zuwachse, an den ursprünglich 1 Mill. langen Querzonen

Zone	A	B
VII	0,0 Mill.	0,2 Mill.
VI	0,3 „	0,2 „
V	0,4 „	0,3 „
IV	0,5 „	0,5 „
III	1,0 „	0,8 „
II	0,8 „	0,7 „
Spitze I	0,3 „	0,3 „

Die Länge der gekrümmten Region umfasste bei A und B die Zonen I—V; der Krümmungsradius von *A* betrug an der stärkst gekrümmten Stelle 3—4 Mill. bei *B* 10 Mill. Die Krümmung umfasste, soweit ich beurtheilen konnte, nicht mehr die VI. Zone, die offenbar schon vor dem Eintritt der krümmenden Wirkung zu wachsen aufgehört hatte.

Auch diese durch Centrifugalkraft erzeugten Krümmungen flachen sich bei weiterem Wachsthum wieder bis zu einem gewissen Grade ab, obgleich die Rotation, also auch die Centrifugalkraft fortdauert. So beobachtete ich z. B., dass Nebenwurzeln bei viermaliger Drehung in 1 Secunde und 35 Mill. Rotationsradius nach vier Stunden Krümmungen von 5—6 Mill. Radius gemacht hatten, 14 Stunden später dagegen war bei weiterem Wachsthum die Krümmung soweit abgeflacht, dass der kleinste Radius derselben bis auf 30 Mill. gestiegen war. Soweit sich beurtheilen liess, war die Krümmung von Anfang bis zu Ende auf die ganze wachsende Region vertheilt, deren Partialzuwachse in 18 Stunden bei 24—25° C. auf Zonen von ursprünglich 1 Mill. Länge folgende waren:

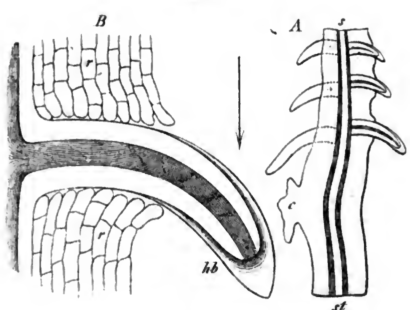
Zone	Zuwachse
VI	0,3 Mill.
V	0,4 ,,
IV	1,0 ,,
III	3,5 ,,
II	4,6 ,,
Spitze I	1,0 ,,

Auch bei den durch Fliehkraft gekrümmten Nebenwurzeln hört die weitere Krümmung auf, bevor die Wurzelspitze sich in die Richtung des Rotationsradius gestellt hat; bildet sie mit diesem einen gewissen spitzen Winkel, so wächst sie geradeaus fort und zwar ist dieser Winkel um so kleiner, je grösser die Centrifugalkraft ist, worauf ich unten noch zurückkomme.

§. 11. Ueberwindung von Widerständen bei der geotropischen Krümmung der Nebenwurzeln. Schon nach der bisher constatirten Aehnlichkeit, welche die Nebenwurzeln mit den Hauptwurzeln bezüglich der in die Länge wachsenden Region und bezüglich der Krümmungsform zeigen, darf man mit Zuversicht erwarten, dass die sich krümmende Region der Nebenwurzeln nach Maassgabe ihrer Dicke und Steifheit im Stande sein wird, Widerstände zu überwinden, welche sich der Abwärtskrümmung entgegenstellen. Zur Entscheidung dieser Frage die in §. 27 auf die Hauptwurzel angewendeten Methoden auch auf die Nebenwurzeln zu übertragen, ist zwar nicht unmöglich, aber doch sehr unbequem und noch dazu überflüssig, insofern man aus anderen Erscheinungen mit Bestimmtheit die Folgerung ableiten kann, dass auch die Abwärtskrümmung der Nebenwurzeln Widerstände von beträchtlicher Grösse zu überwinden vermag. Erstens geht diess aus dem Verhalten der Nebenwurzeln in der Erde hervor: die oben beschriebenen geotropischen Krümmungen derselben innerhalb der Erdkästen hinter Glaswand treten an solchen Wurzeln auf, die von allen Seiten her von einer Erdschicht von 8—10 Ctm. Dicke umgeben sind, und selbst dann, wenn die anfangs locker eingefüllte Erde

6—10 Tage lang Zeit gehabt hat, sich zu setzen, was durch wiederholtes Begiessen noch befördert worden ist; wird der Kasten dann umgekehrt, so krümmen sich die Wurzeln dennoch abwärts und da die Krümmung gleichzeitig an einer 4—6 Mill. langen Stelle stattfindet, so ist leicht zu begreifen, dass die convexe Seite sich gegen die Bodentheilchen stemmen und sie theilweise verschieben muss; von einem blossen Hinabsinken der Wurzelspitze in Hohlräume der Erde kann auch hier keine Rede sein, da die unmittelbare Beobachtung das Gegentheil zeigt. Noch schlagender zeigt sich die Fähigkeit der Nebenwurzeln bei ihrer Abwärtskrümmung Widerstände zu überwinden, in solchen Fällen, wo sie tief im inneren des lebendigen Gewebes eines Stammes entspringen, wie diess z. B. bei Angiopteris evecta der Fall ist; in der vierten Auflage meines Lehrbuchs p. 412 habe ich einen Längsschnitt des Stammes dieser Pflanze abgebildet, der mehrere schief abwärts wachsende Nebenwurzeln zeigt, welche sich durch das straffe, saftige, sie umgebende Parenchym weder an der Abwärtskrümmung noch an dem weiteren Wachsthum hindern lassen. Ganz dasselbe geschieht übrigens auch bei den das Rindenparchym der Hauptwurzeln durchbohrenden Nebenwurzeln von Faba, Phaseolus, Cucurbita u. a.; ist hier auch die umhüllende Parenchymschicht der Mutterwurzel nur 1—2 Mill. dick, so ist doch leicht zu sehen, dass die Krümmung der Nebenwurzeln schon in früher Jugend derselben und innerhalb der sie umhüllenden Rinde beginnt. So zeigt z. B. Fig. 27 *A* den Basaltheil einer Hauptwurzel von Vicia Faba,


Fig. 27.



Vicia Faba. Junge Nebenwurzeln aus umgekehrter Hauptwurzel hervorbrechend und abwärts gekrümmt. *A c* Cotyledonarstiel; *st* Stengel; *s* Hauptwurzel, quer abgeschnitten. *B r* Rinde der Hauptwurzel, *hb* Haube der Nebenwurzel.

welche vor dem Austritt ihrer Nebenwurzeln in umgekehrter Richtung in feuchter Luft aufgehängt worden war; die Figur zeigt den oberen Theil

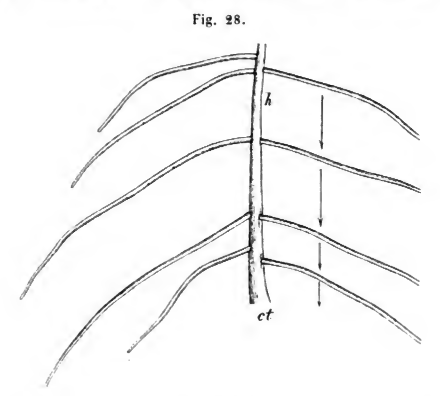
der Hauptwurzel, nachdem die Nebenwurzeln 3 — 5 Mill. lang geworden waren, im Längsschnitt schwach vergrössert; man bemerkt, wie die Nebenwurzeln ihrer ganzen Länge nach gekrümmt sind; später wachsen die Spitzen in der Richtung, die sie jetzt bereits eingeschlagen haben, ohne weitere Krümmung gerade fort; ein in dieser Weise weiter entwickeltes Wurzelsystem zeigt uns daher gerade Nebenwurzeln, anscheinend ursprünglich unter spitzen Winkeln aus der Hauptwurzel hervortretend, die Beobachtung zeigt aber, dass sie diese Richtung einer jähen Krümmung verdanken, welche sie während ihres Austrittes aus der Mutterwurzel zum Theil innerhalb des Rindengewebes derselben vollzogen haben. Noch auffallender ist diese Krümmung junger Nebenwurzeln innerhalb der Rinde der Mutterwurzel, wenn sie in Folge der Centrifugalkraft eintritt, deren Beschleunigung f dem 3 — 4fachen Werthe von g gleichkommt. In diesem Falle beobachtete ich auch bei Phaseolus multiflorus, dass die Rinde der gekrümmten Nebenwurzel auf der concaven Seite beträchtlich dicker war als auf der convexen, ganz ähnlich wie bei scharf gekrümmten Hauptwurzeln (§. 29). Wird ein Längsschnitt durch die Hauptwurzel so hergestellt, dass eine 3 — 5 Mill. lange Nebenwurzel ihrer ganzen Länge nach median gespalten erscheint wie in Fig. 27 *B*, wo *r r* die Rinde der Hauptwurzel bezeichnet, und ist diese Nebenwurzel durch Einwirkung der Schwere oder der Fliehkraft wie in der genannten Figur ihrer ganzen Länge nach gekrümmt, so hat man dabei Gelegenheit, noch eine andere beachtenswerthe Beobachtung zu machen; nämlich die, dass der Wurzelkörper der Nebenwurzel seine Krümmung nicht nur innerhalb der Wurzelhaube fortsetzt, sondern dass auch das Gewebe der Wurzelhaube selbst sich an der Krümmung gerade so betheiligt, als ob es ein integrirender Theil der Wurzel selbst wäre. Dieser innerhalb der Wurzelhaube eingeschlossene und dennoch gekrümmte Theil des Körpers der Nebenwurzel ist bei Faba und Phaseolus 0,9 — 1,5 Mill. lang. Diese Wahrnehmung ist insofern von Interesse, als sie deutlich zeigt, dass das Gewebe der Wurzelhaube nicht nur kein Hinderniss für die geotropische Krümmung der Wurzelspitze ist, sondern dass es selbst an der geotropischen Krümmung sich betheiligt. Mit der Constatirung dieser Thatsache aber widerlegt sich die von Hofmeister gemachte Annahme (Berichte der k. sächs. Gesellsch. der Wiss. 1860 p. 202 u. bot. Ztg. 1868 p. 280), dass die Wurzelhaube eine starre Hülle darstelle, welche den vorderen Theil der wachsenden Region der Wurzel hindere, geotropische Krümmungen zu machen; mit der Widerlegung dieser Annahme fallen natürlich auch die daraus gezogenen Folgerungen, vor Allem auch die, dass die Nebenwurzeln höherer Ordnung desshalb keine geotropischen Krümmungen zeigen, weil bei ihnen die krümmungsfähige Region von der Wurzelhaube ganz umschlossen sei; wir werden also, wo geotropische Krümmungen an Wurzeln nicht vorkommen, die Ursache in der Molecularstructur, nicht aber in einem äusserlichen Hinderniss, wie es die Wurzel-

haube darstellen soll, was sie aber thatsächlich nicht ist, zu suchen haben.

Verschiedenheit des geotropischen Verhaltens der Nebenwurzeln erster Ordnung von dem der Hauptwurzel.

§. 42. Der geotropische Grenzwinkel der Nebenwurzeln. Wiederholt habe ich im Vorausgehenden auf die sonderbare Eigenschaft der Nebenwurzeln erster Ordnung hingewiesen, dass dieselben, obgleich mit positivem Geotropismus begabt, ihre Krümmung doch niemals soweit fortsetzen, dass dadurch die fortwachsende Spitze senkrecht gestellt oder bei rasch rotirenden Pflanzen in die Richtung des Rotationsradius gebracht würde, dass sie vielmehr der einwirkenden Schwere oder Centrifugalkraft anfangs zwar willig folgen, dann aber, wenn die Wurzelspitze einen ge-

Fig. 28.

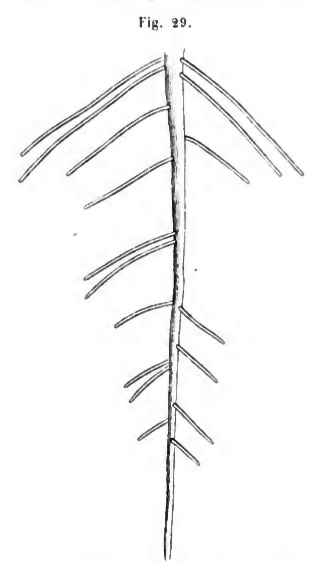


Vicia Faba, die Nebenwurzeln haben sich aus einer vor ihrem Austritt umgekehrten Hauptwurzel *h* in Erde hinter Glaswand entwickelt.

wissen spitzen Winkel mit der Richtung der wirkenden Kraft bildet, jede weitere Krümmung aufgeben und nun geradeaus fortwachsen. Es ist dabei ganz gleichgültig, welche Richtung die Nebenwurzeln ursprünglich vor dem Eintritt der geotropischen Krümmung besassen und ob sie sich aus einer normal gerichteten umgekehrten oder horizontalen Hauptwurzel entwickeln, wie Fig. 28, 29 und Fig. 26 zeigt: die geotropische Krümmung hört nicht nur auf, sobald dieser schiefe Winkel erreicht ist, sondern sie tritt auch überhaupt gar nicht ein, wenn sich die Wurzeln von vorneherein aus anderen Gründen z. B. in Folge der Epinastie schon so entwickeln,

dass sie mit der Verticalen diesen spitzen Winkel bilden, daher kommt es, dass man bei den in normaler Lage der Keimpflanze entwickelten Nebenwurzeln, wie bei Fig. 22 und 29 diejenigen Richtungen vorfindet, welche bei langsamer Rotation, also bei Ausschluss des Geotropismus durch innere Kräfte bewirkt, sich einstellten, und welche, wie oben hervorgehoben wurde, zu der Annahme verleiten könnten, als ob die Nebenwurzeln erster Ordnung überhaupt nicht geotropisch wären; dass sie es aber sind, wurde hinreichend bewiesen. Die Thatsache, um die es sich hier handelt, wird aus der Betrachtung der Fig. 26, 28 und 30 hinlänglich veranschaulicht werden; besonders auffallend tritt sie, wie Figur 30 zeigt, dann hervor, wenn Hauptwurzeln, deren Nebenwurzeln soeben auszutreten anfangen, horizontal in Erde gelegt werden. Man bemerkt in Fig. 30 *A* und *B*, wie die Wurzeln *a*, *c*, *e*, *i* aus der horizotalen Hauptwurzel *h* aufwärts schief emporwachsend geotropische Krümmungen machen, dann aber im weiteren Verlauf schief abwärts ziemlich geradeaus wachsen. Was die Wurzelgruppen *d*, *g*, *k* betrifft, so lassen diese gar keine geotropische Krümmung erkennen, man bemerkt aber, dass sie von vornherein ähnliche Winkel bilden, wie die vorigen nach der geotropischen Krümmung. Dass die Wurzeln *b* und *f* nach vorn gerichtet sind, die anderen nach rückwärts, erklärt sich zur Genüge aus ihrer Hyponastie, während die Rückwärtsrichtung der anderen auf ihrer Epinastie beruht.

Fig. 29.



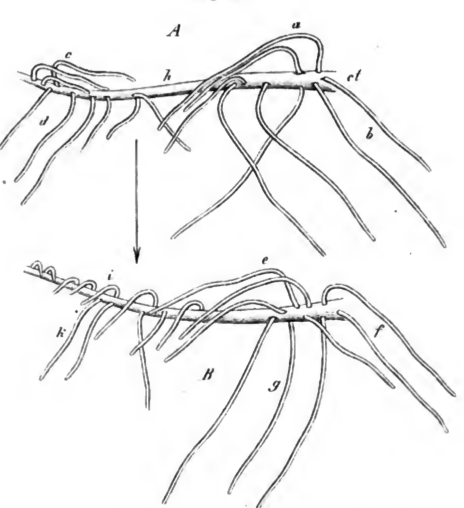
Vicia Vaba in Erde hinter Glaswand entwickelt.

Um die wichtige Thatsache, welche den Gegenstand dieser Betrachtungen bildet, kurz zu bezeichnen, will ch denjenigen Winkel, unter welchem Nebenwurzeln erster Ordnung gegen die Verticale geneigt sein können, ohne eine geotropische Krümmung zu erfahren oder denjenigen Neigungswinkel, nach dessen Erreichung die geotropische Krümmung an der Wurzelspitze aufhört, als den geotropischen Grenzwinkel bezeichnen.

Bevor wir aber auf die nähere Betrachtung desselben eingehen, sind noch einige Nebenumstände hervorzuheben. Vor Allem tritt hier der

Umstand störend hervor, dass die dünnen Nebenwurzeln innerhalb der Erde vielfach unregelmässigen Hin- und Herbiegungen ausgesetzt sind, durch welche ihr gradliniger Verlauf mehr oder weniger entstellt wird, wie die citirten Figuren hinreichend zeigen; dass daran jedoch nur die Rauhigkeit des Bodens schuld ist, ersieht man aus dem Umstand, dass bei der Cultur in feuchter Luft und in Wasser die Nebenwurzeln in den hier betrachteten Verhältnissen solche Verbiegungen nicht zeigen, sondern völlig geradeaus wachsen oder auch einen sehr flachen, abwärts concaven, aber glatten Bogen beschreiben; da jedoch die geotropischen Krümmungen in feuchter, lockerer Erde viel kräftiger und normaler auftreten und da es trotz der zufälligen Verbiegungen doch immer leicht ist, die von der Schwerkraft unabhängige Hauptrichtung zu erkennen, so halte ich mich an die Beobachtungen von in Erde wachsenden Nebenwurzeln.


Fig. 30.



Vicia Faba, in Erde hinter Glaswand, die Nebenwurzeln entwickeln sich aus horizontalen Hauptwurzeln.

Eine zweite störende Thatsache liegt ferner darin, dass Nebenwurzeln, welche z. B. 3—5 Ctm. weit unter einem bestimmten Grenzwinkel geradeaus fortgewachsen sind, plötzlich steiler abwärts biegen, um dann wieder

geradeaus fortzuwachsen, also unter einem kleineren Grenzwinkel als bisher; da diess jedoch bei Nebenwurzeln in Wasser nicht vorkommt, und andrerseits auch in lockerer Erde das Gegentheil auftreten kann, so möchte ich diese Vorkommnisse doch auf zufällige Störungen zurückführen, welche vielleicht durch ungleichmässige Beschaffenheit der Erde, durch verschiedene Dichtigkeit derselben an verschiedenen Stellen und besonders auch durch ungleichmässige Vertheilung der Feuchtigkeit hervorgerufen werden.

Drittens ist zu beachten, dass die Grösse des Grenzwinkels, also die Steilheit der Abwärtsrichtung der Nebenwurzeln ähnlich wie der Eigenwinkel derselben von individuellen Eigenschaften der Keimpflanze bedingt ist; in wie hohem Grade diess der Fall sein kann, zeigt die Vergleichung von Fig. 22 und Fig. 29, wo die Nebenwurzeln des einen Exemplars von Faba unter 70—80° gegen die Verticale geneigt sind, bei dem anderen dagegen unter 40—50° abwärts wachsen. Diese individuelle Eigenthümlichkeit tritt auch dann hervor, wenn die verschiedenen Exemplare in demselben Erdkasten nebeneinander wachsen und wenn sich die Nebenwurzeln aus einer umgekehrten oder horizontal gelegten Hauptwurzel entwickeln.

Neben der für die ganze Pflanze geltenden individuellen mittleren Grösse des Grenzwinkels hat aber auch jede Nebenwurzel einer und derselben Pflanze noch die Neigung einen mehr oder minder grossen Grenzwinkel zu bilden, je nachdem sie aus dem hypocotylen Glied, aus der Wurzelbasis oder tiefer unten an der Hauptwurzel entspringt; um nur ein Beispiel in dieser Beziehung zu nennen, fand ich bei den hinter der Glaswand eines Erdkastens entwickelten Nebenwurzeln von Faba, nachdem dieselben ihre gerade Richtung angenommen hatten, folgende Grenzwinkel, wobei der Buchstabe A die oberste aus der Hauptwurzel selbst entspringende, F eine der untersten Nebenwurzeln bezeichnet, B—E der Reihe nach zwischen beiden entspringen.

Grenzwinkel.

Nebenwurzeln der linken Seite		Nebenwurzeln der rechten Seite	
A	80°	A′	60°
B	70°	B′	60°
C	60°	C′	50°
D	60°	D′	50°
E	60°	E′	50°
F	65°	F′	40°

Dass diese Verschiedenheit irgendwie mit der Epinastie der Nebenwurzeln zusammenhängt, ist sehr wahrscheinlich, besonders auch aus dem Grunde, weil die obersten aus dem hypocotylen Glied entspringenden, von denen wir schon wissen, dass sie hyponastisch sind, doch selbst bei normaler Stellung der Keimpflanze in Erde schief aufwärts wachsen und sogar aus der Erdoberfläche hervortreten, wie Fig. 35 zeigt. In welcher Weise sich jedoch die Epinastie oder Hyponastie jeder einzelnen Neben-

wurzel mit ihrer specifischen geotropischen Fähigkeit verbindet, um unter gegebenen äusseren Umständen gerade diesen oder jenen Grenzwinkel herbeizuführen, ist schwer zu entscheiden.

Es leuchtet ein, dass alle diese Umstände, welche die Grösse des Grenzwinkels beeinflussen und welche in so hohem Grade variabel sind, einer genaueren auf vergleichende Messung gestützten Erforschung der Ursache des Grenzwinkels sich hindernd entgegenstellen.

Legen wir uns nun die Frage vor, was wir uns darunter zu denken kaben, dass Wurzeln, obgleich sie geotropisch sind, doch aufhören sich zu krümmen, wenn die fortwachsende Spitze einen Grenzwinkel mit der Richtung der Schwere oder mit der Richtung der Centrifugalkraft bildet, so bietet sich zur Beantwortung zunächst die schon bei den Hauptwurzeln §. 28 benutzte Annahme dar, dass die Wirkung der Schwere (resp. der Centrifugalkraft) auf jede krümmungsfähige Zone der Wurzel einen Maximaleffect ausüben wird, wenn sie die Wachsthumsaxe derselben unter einem rechten Winkel trifft; je spitzer der Winkel wird, unter welchem die Richtung der Schwerkraft (resp. Centrifugalkraft) die Längsaxe der krümmungsfähigen Stelle schneidet, desto schwächer wird die krümmende Wirkung selbst ausfallen. Der Unterschied zwischen Haupt- und Nebenwurzeln läge nun darin, dass die ersteren auch dann noch in merklichem Grade sich krümmen, wenn dieser Neigungswinkel ein sehr spitzer geworden ist, so dass die Hauptwurzelspitze schliesslich wirklich die Richtung der Schwere oder der Centrifugalkraft oder der Resultante beider annimmt; während dagegen bei den Nebenwurzeln die krümmende Wirkung schon dann aufhört, oder doch äusserst klein wird, wenn die Längsaxe der krümmungsfähigen Stelle mit der Richtung der Schwere oder Centrifugalkraft einen spitzen Winkel von beträchtlicher Grösse bildet; dieser Winkel, bei welchem die Einwirkung unserer Annahme nach aufhört, wäre dann eben der genannte Grenzwinkel. Das Vorhandensein dieses Grenzwinkels liesse sich in gewissem Sinne also auch so auffassen, dass bei den Nebenwurzeln mit abnehmendem Neigungswinkel die krümmende Wirkung rascher abnimmt als bei den Hauptwurzeln; diess durch Versuche und Messungen nachzuweisen, würde jedoch noch beträchtlich mehr Zeit in Anspruch nehmen, als ich der Sache bisher widmen konnte und so mag es einstweilen genügen, die Frage, um welche es sich hier handelt, für eine zukünftige Beantwortung klar gestellt zu haben, und es ist zu hoffen, dass die wirkliche Kenntniss der Ursache des Grenzwinkels der Nebenwurzeln uns einen tieferen Blick in das Wesen der geotropischen Wirkung gestatten wird.

Dass die hier versuchte Auffassung der Wahrheit nahe kommt, schliesse ich zunächst daraus, dass mit zunehmender Grösse der einwirkenden Kraft der Grenzwinkel immer kleiner wird; unterwirft man Keimpflanzen einer raschen Rotation um senkrechte Axe so, dass die Beschleunigung der Centrifugalkraft f zwei-, drei-, viermal so gross wird als die Beschleunigung

der Schwere g, so sieht man, dass der Grenzwinkel immer kleiner wird, dass mit zunehmender Grösse von f die Nebenwurzeln immer mehr der Richtung des Rotationsradius sich annähern.

Auf die Bedeutung des Grenzwinkels für die Natur des Geotropismus wirft die Thatsache einiges Licht, dass eine vorher in irgend einer Richtung gewachsene Nebenwurzel, wenn die ganze Pflanze umgekehrt wird, sich so lange krümmt, bis der Grenzwinkel nahezu wieder derselbe ist, wie vor der Umkehrung; hatte eine Nebenwurzel z. B. vor der Umkehrung den Grenzwinkel 70 oder 80°, so krümmt sie sich nach der Umkehrung so lange, bis sie dann wieder unter 70—80° geradeaus fortwachsen kann; hatte sie dagegen vor der Umkehrung den Grenzwinkel 40 oder 50°, so krümmt sie sich auch in diesem Falle so lange, bis sie wieder unter 40 oder 50° geneigt gerade fortwachsen kann, eine Thatsache, welche durch Fig. 26 hinreichend veranschaulicht wird. Der Grenzwinkel ist also eine, jeder einzelnen Nebenwurzel zukommende Eigenschaft, doch muss ich schon hier darauf hinweisen, dass, wie ich unten zeigen werde, in der stattgefundenen Krümmung selbst eine Ursache liegt, durch welche der Grenzwinkel eine Vergrösserung erfährt; die Nebenwurzeln pflegen nämlich nach der Umkehrung der Pflanzen nicht genau denselben Grenzwinkel zu erreichen, sondern einen etwas grösseren als vorher, was zumal bei wiederholter Umkehrung deutlich hervortritt.

Man kann, um eine leichtere Ausdrucksweise zu gewinnen, die Grösse des Grenzwinkels als eine Art Maass für die Fähigkeit zum Geotropismus der Wurzeln betrachten, d. h. solche Wurzeln, deren Grenzwinkel kleiner ist, können als in höherem Grade geotropisch betrachtet werden. Wir könnten in diesem Sinne daher auch sagen, die Nebenwurzeln sind im Allgemeinen weniger geotropisch als die Hauptwurzeln und zwar um so weniger, je grösser ihr specifischer Grenzwinkel ist. Es scheint nun, dass die geotropische Fähigkeit, oder wenn man will, die Empfindlichkeit für den krümmenden Einfluss der Schwere und der Centrifugalkraft, insofern sich dieselbe durch den Grenzwinkel messen lässt, durch äussere Eingriffe gesteigert oder geschwächt werden kann. Hierher gehört vor Allem die Beobachtung, dass, wenn man eine Hauptwurzel 3 oder 4 Ctm. unterhalb ihrer Basis quer durchschneidet, die Nebenwurzeln, welche dann nahe an dem Querschnitt hervorbrechen, in viel höherem Grade die Fähigkeit besitzen, sich senkrecht abwärts zu richten, als die von dem Querschnitt entfernteren Nebenwurzeln. Es tritt das ganz besonders auffallend dann hervor, wenn man die Keimpflanze mit abgestutzter Hauptwurzel in umgekehrter Lage sich weiter entwickeln lässt; während die vom Querschnitt entfernteren Nebenwurzeln Grenzwinkel von 50—70° bilden, krümmen sich die dicht unter dem Querschnitt austretenden so stark, dass sie dann beinahe senkrecht abwärts wachsen oder Grenzwinkel von 10—20° bilden. Man sieht sofort, dass hier ein ähnliches Verhalten obwaltet, wie bei aufrechten Stengeln mit schiefen Seitensprossen; wird der Gipfel des Haupt-

stengels oberhalb eines Seitensprosses weggeschnitten, so richtet sich dieser stärker auf und kann senkrecht fortwachsend den Gipfel des Hauptsprosses gewissermassen ersetzen.

Von äusseren Umständen, welche die Grösse des Grenzwinkels oder die geotropische Krümmungsfähigkeit beeinflussen, ist die Feuchtigkeit der Erde und vielleicht auch die Höhe der Temperatur zu nennen. Was zunächst den Einfluss des Wasserreichthums der Erde betrifft, so gelang es mir allerdings nicht, ganz befriedigende Ergebnisse zu gewinnen. Durch gelegentliche Beobachtung wurde ich darauf aufmerksam, dass wenn die Keimpflanzen von Faba ihr Wurzelsystem in sehr wasserarmer Erde entwickelten, die Nebenwurzeln häufig fast horizontal oder doch unter sehr grossen Grenzwinkeln fortwuchsen, während sie in sehr feuchter Erde und in Wasser häufig unter 30—40° schief abwärts wachsen. Diese Wahrnehmung veranlasste mich zu einigen Versuchen, von denen ich nur einen hier beschreiben will. Eine Keimpflanze von Faba, die vorher in Wasser einige Zeit gelegen hatte, um sich recht vollzusaugen, wurde in einen Erdkasten mit sehr mässig feuchter Erde hinter die Glaswand eingesetzt, bevor die Nebenwurzeln ausgetreten waren. Bei niederer Temperatur (12 bis 15° C.) und in Folge der geringen Erdfeuchtigkeit entwickelten sich die Nebenwurzeln sehr langsam; als sie eine hinreichende Länge erreicht hatten, wurden die Spitzen einiger an der Glaswand mit Papierindices bezeichnet, dann wurde die Erde mit Wasser gesättigt und nachdem die Wurzeln abermals 3 Tage fortgewachsen waren, die Richtung und Länge der vor und nach dem Begiessen gewachsenen Theile bestimmt. Es fand sich folgendes Resultat:

Vor dem Begiessen (in trockener Erde).

Wurzel	Grenzwinkel [1]	Länge des geraden Stückes
obere A	85°	18 Mill.
B	60°	33 ,,
C	60°	22 ,,
D	50°	12 ,,
untere E	50°	10 ,,

Nach dem Begiessen erfolgte schon binnen einiger Stunden eine plötzliche Abwärtskrümmung der Nebenwurzeln, worauf sie in den folgenden drei Tagen wieder geradeaus fortwuchsen; die Messung ergab nach dem Begiessen

Wurzel	Grenzwinkel	Länge des geraden Stückes
A	35°	15 Mill.
B	40°	30 ,,
C	20°	14 ,,
D	20°	14 ,,
E	15°	7 ,,

1) Diese und ähnliche Winkelmessungen wurden mit Hülfe eines auf einem dünnen Glimmerplättchen eingeritzten Transporteurs ausgeführt.

Gleiche Ergebnisse erhielt ich von einigen anderen ähnlichen Versuchen, in anderen Fällen jedoch war es nicht möglich, durch Begiessen eine Verminderung des Grenzwinkels zu erzielen; dadurch wird jedoch das positive Ergebniss um so weniger entwerthet, als die Nebenwurzeln in ihrem Verhalten gegen äussere Einflüsse der mannigfaltigsten Art bald sehr empfindlich, bald sehr unempfindlich sind, so dass das Experimentiren mit ihnen zu den zeitraubendsten und unerfreulichsten Beschäftigungen gehört.

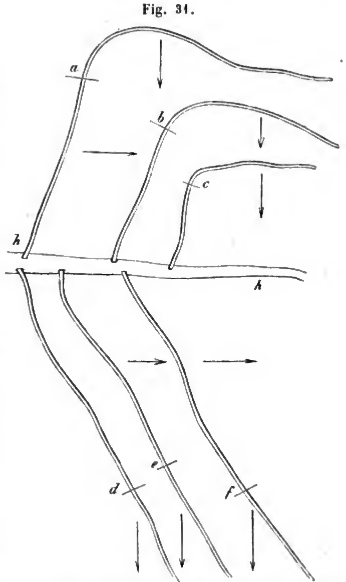
Noch weniger Sicheres weiss ich in Bezug auf die Temperaturwirkung zu sagen; gelegentliche Wahrnehmungen, die ich erst künftig experimentell prüfen werde, legen mir die Annahme nahe, dass Nebenwurzeln, welche bei einer relativ niedrigen Temperatur unter einem bestimmten Grenzwinkel schief abwärts gewachsen sind, durch erhebliche Steigerung der Temperatur dazu veranlasst werden könnten, von Neuem steiler abwärts zu biegen und dann unter kleinerem Grenzwinkel weiter zu wachsen. Doch ist diess zunächst eine blosse Vermuthung, die ich hier einstweilen angedeutet haben möchte.

§. 43. Verhalten auf- und abwärts gerichteter Nebenwurzeln. Das im vorigen § über den geotropischen Grenzwinkel Gesagte verhilft uns zu einer Erklärung derjenigen Erscheinungen, welche an auf- und abwärts gerichteten Nebenwurzeln auftreten. Lässt man das Wurzelsystem von Faba, Phaseolus, Cucurbita hinter der Glaswand eines Erdkastens in normaler Richtung sich entwickeln, und dreht man dann den Kasten so um, dass die vorher senkrechte Hauptwurzel (Fig. 31) *h h* jetzt horizontal liegt, bezeichnet man die Lage der Wurzelspitzen zu dieser Zeit, wie es bei *a—f* in Fig. 31 geschehen ist, und lässt man nun das Ganze einige Tage so stehen, so findet man dann die weiter gewachsenen Nebenwurzeln zum Theil geotropisch gekrümmt, zum Theil nicht; besonders fällt es auf, dass für gewöhnlich nur die in Folge der Umdrehung aufgerichteten Nebenwurzeln geotropische Krümmungen zeigen, während die in Folge der Umdrehung abwärts gerichteten gewöhnlich ohne geotropische Krümmung in der ihnen gegebenen Richtung fortwachsen (Fig. 31, 32). Um dieses anscheinend sehr auffallende Verhalten erklärlich zu finden, können wir das bisher über den Grenzwinkel Gesagte benutzen, wobei ich den Leser noch einmal daran erinnern muss, wohl zu beachten, dass wir unter Neigungswinkel einen Winkel verstehen, welchen die Verticale mit dem acroscopen Theil einer Wurzel einschliesst und dass ferner der Grenzwinkel derjenige kleinste Neigungswinkel ist, bei welchem die geotropische Wirkung erlischt.

Betrachten wir nun zunächst nur diejenigen Nebenwurzeln, welche aus der Hauptwurzel selbst (nicht aber aus ihrer Basis oder dem hypocotylen Glied) entspringen, so leuchtet ein, dass alle diese Nebenwurzeln, wenn sie vor der Umlegung des Kastens untereinem bestimmten Grenzwinkel schief abwärts gewachsen waren, nach der Umlegung schief aufwärts oder schief

abwärts gerichtet sein müssen (vergl. Fig. 31). Betrachten wir nun zunächst wieder die in Folge der Umlegung schief aufgerichteten Nebenwurzeln, so leuchtet ein, dass, wenn sie vorher einen Grenzwinkel kleiner als 90° hatten, sie nun in Folge der Umkehrung einen Neigungswinkel grösser als 90° haben müssen; jedenfalls also ist der ihnen gegebene Neigungswinkel grösser als der ihnen eigenthümliche Grenzwinkel, es wird demzufolge eine geotropische Krümmung eintreten können, welche so lange dauert, bis die fortwachsenden Spitzen wieder eine Neigung gewinnen, welche dem Grenzwinkel der betreffenden Wurzel gleich ist; so geschieht es in der That, wie Fig. 31 bei *a b c* und Fig. 32 bei *b* erkennen lässt; diese Figuren sind wie auch die anderen, wo es auf genaue Wiedergabe der Richtungsverhältnisse ankam, dadurch hergestellt worden, dass ich auf die Glaswand des Erdkastens, hinter welcher die beobachteten Wurzeln sich befanden, dünne Glimmerplatten auflegte; durch Einritzen wurde ein möglichst genaues Bild der betreffenden Wurzeln auf der Glimmerplatte gewonnen und von dieser dann auf Papier übertragen. Um die Grösse des Grenzwinkels vor und nach der geotropischen Krümmung besser beurtheilen zu können, ist auch in diesen Figuren die Richtung der Schwerkraft vor und nach der Umlegung des Kastens durch Pfeile angedeutet.

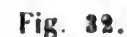
Fig. 31.

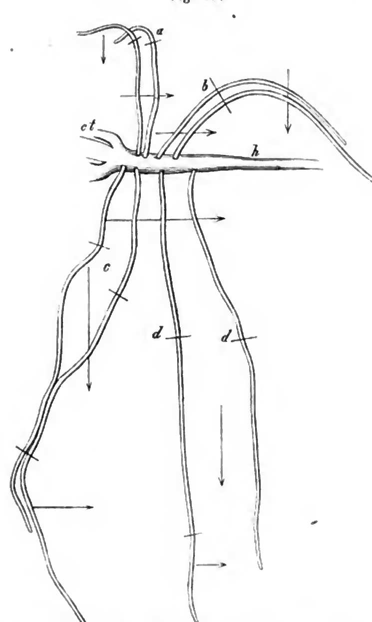


Phaseolus multiflorus, hinter Glaswand in Erde; anfangs in normaler Lage; nachdem die Nebenwurzeln bis zu den Punkten *a . . . f* gewachsen waren, wurde der Kasten so gestellt, dass die Hauptwurzel *h h* horizontal zu liegen kam.

Betrachten wir nun ebenso die in Folge der Umdrehung des Kastens schief abwärts gerichteten Nebenwurzeln, welche aus der Hauptwurzel selbst entspringen, wie *d, e, f* in Fig. 31 und *c d* in Fig. 32, so bemerkt man, dass dieselben in Folge der Umkehrung keinerlei geotropische Krümmung erfahren haben, sondern in der ihnen gegebenen Richtung geradeaus weiter gewachsen sind. Man bemerkt aber, dass der Grenzwinkel von

d e f in Fig. 31 vor der Umkehrung ungefähr 45° betrug, folglich musste der Neigungswinkel in Folge der Umdrehung wieder = 45°, also gleich dem Grenzwinkel sein; es war folglich kein Grund zu einer weiteren Krümmung vorhanden. Die Wurzeln *d d* in Fig. 32 dagegen waren vor der Umdrehung des Kastens unter einem Grenzwinkel von ungefähr 80° und 90° gewachsen, folglich betrug ihre Neigung nach der Umdrehung etwa 10°, resp. 0°, der Neigungswinkel war also viel kleiner als der Grenzwinkel und auch hier konnte also eine geotropische Krümmung nicht eintreten. Ueberhaupt wird im Allgemeinen in Folge der Umdrehung bei den hiedurch abwärts gerichteten Nebenwurzeln keine geotropische Krümmung eintreten können, wenn der Grenzwinkel derselben zwischen 45 und 90° liegt. Kommt dagegen der seltene Fall vor, dass der Grenzwinkel vor der Umdrehung kleiner als 45° war, so bekommt die Wurzel in Folge der Umdrehung einen Neigungswinkel, welcher grösser als 45° und folglich auch grösser als der der betreffenden Wurzel eigenthümliche Grenzwinkel ist; in diesem Falle wird sich also die abwärts gerichtete Nebenwurzel so lange krümmen, bis ihre Spitze wieder den Grenzwinkel erreicht hat. Ich unterlasse es ausführliche Nachweisungen mit Zahlen für das Gesagte zu geben, da es bei den häufigen Verbiegungen der dünnen Wurzeln in der Erde sehr schwer ist, genaue Winkelmessungen anzustellen; das hier Mitgetheilte stützt sich aber


Fig. 32.



Phaseolus multiflorus in Erde hinter Glaswand; *ct* die Stiele der Cotyledonen; das Wurzelsystem anfangs in normaler Lage entwickelt; als die Nebenwurzeln bis zu den Punkten *a b c d* gekommen waren, wurde der Kasten umgelegt, dass die Hauptwurzel *h* horizontal lag. Später wurde der Kasten wieder normal gestellt, wie die unteren (hier horizontalen) Pfeile andeuten.

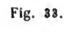
auf sehr zahlreiche Beobachtungen, die einer anderen Erklärung als der gegebenen gewiss nicht zugänglich sind.

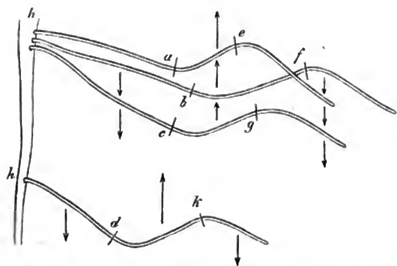
Gehen wir nun nochmals auf unsere Figur 32 zurück, so bemerkt man, dass die aus dem hypocotylen Glied entspringenden Nebenwurzeln (von Phaseolus) vor der Umkehrung zum Theil horizontal gewachsen waren wie *a* oder schief aufwärts wie *c*. Nach der Umkehrung waren die ersteren senkrecht aufgerichtet und sie hätten sich eigentlich gar nicht krümmen sollen; dennoch haben sie sich energisch nach der Stengelseite der Keimpflanze hingewendet. Es ist wahrscheinlich, dass hier die Hyponastie dieser Wurzeln zunächst eine leichte Krümmung nach der Stengelseite hin bewirkt hat; dadurch wurde ein für den Geotropismus günstiger Neigungswinkel erzielt und die geotropische Krümmung konnte nun weiter fortschreiten; in diesem Falle also konnten Hyponastie und Geotropismus gleichsinnig zusammenwirken, während bei den abwärts gerichteten Wurzeln *c* beide einander entgegenwirken mussten [1]).

§. 44. Aenderung des Grenzwinkels bei wiederholter Auf- und Abwärtskrümmung. Wird ein in Erde hinter Glaswand entwickeltes Wurzelsystem, nachdem die Nebenwurzeln eine Strecke weit geradeaus gewachsen sind, vollständig umgekehrt, so dass die Hauptwurzel ihre Spitze aufwärts richtet, und wird die Pflanze in dieser Lage belassen, bis die Nebenwurzeln wieder ihren Grenzwinkel erreicht haben, wird sie dann wieder vollständig umgekehrt, so dass die Hauptwurzel wieder nach unten gerichtet ist, und lässt man die Nebenwurzeln abermals so lange wachsen, bis sie ihren Grenzwinkel erreicht haben und dem entsprechend geradeaus wachsen, wie es z. B. bei der in Figur 33 dargestellten Pflanze geschehen ist; wo die auf- und abwärts gerichteten Pfeile die Richtung der Schwerkraft in Bezug auf die Wurzeln in auf einander folgenden Zuständen andeuten, — so bemerkt man, dass die in den drei auf einander folgenden Zuständen erreichten Grenzwinkel für jede Wurzel beinahe dieselben sind. Sehr häufig tritt jedoch ganz besonders bei Faba und noch auffallender bei denen der Knollentriebe der Kartoffel die Erscheinung auf, dass der Grenzwinkel einer Nebenwurzel nach jeder erfolgten Krümmung etwas grösser wird als vorher. Würde nämlich die geotropische Krümmung nach jeder Umkehrung soweit fortschreiten, bis der Grenzwinkel wieder genau der frühere ist, dann müsste das nach der zweiten Umkehrung gerade gewachsene Stück genau parallel sein mit demjenigen Stück derselben Wurzel, welches vor der ersten Umkehrung gerade gewachsen ist; das ist jedoch sehr häufig nicht der Fall, sondern das nach der zweiten Umkehrung gerade gewachsene Stück verfolgt eine Richtung, welche, wenn man sie rückwärts verlängert, die Richtung desjenigen Stückes schneidet, welches vor der

1) Viel schlagender, als in den hier abgebildeten Fällen traten die fraglichen Erscheinungen später bei Versuchen mit Cucurbita hervor, die zu derartigen Beobachtungen sehr geeignet ist.

ersten Umkehrung geradeaus gewachsen ist; mit anderen Worten heisst das, der geotropische Grenzwinkel bei dem dritten Stück ist grösser als bei


Fig. 33.

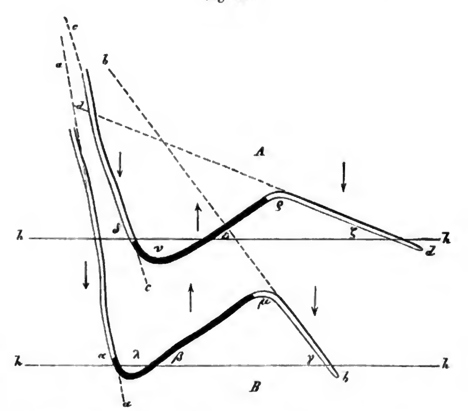


Vicia Faba in Erde hinter Glaswand; aufrecht in normaler, dann in inverser, dann wieder in normaler Stellung, wie die Pfeile angeben.

dem ersten. Ist man nun auf diese Thatsache aufmerksam geworden, so findet man dann auch leicht, dass das nach der ersten Umkehrung gerade gewachsene Stück schon einen etwas grösseren Grenzwinkel bildet, als das vorher gerade gewachsene Stück. Es zeigt sich also, dass nach jeder Umkehrung der Grenzwinkel etwas grösser geworden ist, oder mit anderen Worten, dass nach jeder Umkehrung die geotropische Krümmung unvollständiger wird. Sehr deutlich tritt dieses Verhalten in Figur 34 hervor, welche zwei Nebenwurzeln von Solanum tuberosum darstellt; die Erscheinung ist bei der oberen Wurzel *A* dieselbe, wie bei der unteren Wurzel *B*, nur dass bei *A* der Grenzwinkel von vornherein etwas grösser ist als bei *B* und dass dem entsprechend bei *A* auch die nach den Umkehrungen erreichten Grenzwinkel grössere sind. Die Linien *h h* repräsentiren die horizontale Richtung, die auf- und abwärts gerichteten Pfeile zeigen, in welcher Richtung die Wurzeln in den verschiedenen Zuständen von der Schwere afficirt wurden; die griechischen Buchstaben δ, ε, ζ, dann α, β, γ zeigen die Winkel an, welche die Wurzelstücke mit der Horizontalen machen; diese Winkel sind natürlich um so kleiner, je grösser die geotropischen Grenzwinkel der betreffenden Wurzelstücke sind. Die schwarz gehaltenen Theile beider Wurzeln sind nach der ersten Umkehrung gewachsen, die bloss contourirten Theile vor der ersten und nach der zweiten Umkehrung gebildet. Die Krümmungen bei ν und λ sind nach der ersten Umkehrung, die Krümmungen μ und ρ nach der zweiten Umkehrung entstanden. Man sieht an der Figur sehr deutlich, wie nach jeder Umkehrung die Nebenwurzeln mit der horizontalen einen kleineren Winkel bilden, wie zumal der Winkel ζ viel kleiner als δ, der Winkel γ kleiner als α ist und dass dem entsprechend die Grenzwinkel der entsprechenden Wurzelstücke grösser sind. Ueber die

Ursache dieser Veränderung des Grenzwinkels bei wiederholter Umkehrung weiss ich gegenwärtig keine Auskunft zu geben; man kann die Erschei-

Fig. 34.



Nebenwurzeln aus einem Knollentrieb von Solanum tuberosum.

nung vielleicht auch so auffassen, dass durch jede vorausgegangene geotropische Krümmung die Krümmungsfähigkeit einer Wurzel vermindert wird. Auch hier wie bei verschiedenen anderen Erscheinungen an Nebenwurzeln kam es mir zunächst mehr darauf an, das thatsächlich Beobachtete im Zusammenhang hervorzuheben, um so die Eigenthümlichkeiten der Nebenwurzeln in einem Gesammtbild hervortreten zu lassen. Es wird Aufgabe noch weiterer und zum Theil sehr zeitraubender Untersuchungen sein, die hier noch unerledigt gelassenen Fragen vollständig zu beantworten.

3.

Nebenwurzeln der zweiten Ordnung.

§. 45. Als Nebenwurzeln zweiter Ordnung bezeichne ich alle diejenigen Wurzeln, welche aus Nebenwurzeln der ersten Ordnung entspringen. Ein genaues Studium ihrer Wachsthumserscheinungen ist mit noch viel grösseren Schwierigkeiten verbunden, als bei den Nebenwurzeln der ersten Ordnung, da die Pflanzen in diesem Fall noch länger cultivirt werden müssen und die Nebenwurzeln der zweiten Ordnung sehr dünn sind, oft kaum 0,1 — 0,2 Mill. Dicke erreichen und dabei gewöhnlich ein be-

grenztes Wachsthum zeigen, indem sie meist aufhören sich zu verlängern, wenn sie etwa 2—3 Ctm. lang geworden sind. Für eine genauere Beobachtung der Nebenwurzeln zweiter Ordnung ist übrigens unsere bisherige Hauptversuchspflanze, die Vicia Faba, höchst ungeeignet, da sie erst in höherem Alter, wenn bereits die ersten Blüthen sich öffnen, solche Wurzeln bildet; und zudem sind dieselben sehr wenig zahlreich, nur ab und zu bildet die eine oder andere Nebenwurzel hie und da einige Tochterwurzeln. Viel zweckmässiger ist in dieser Beziehung schon Phaseolus multiflorus, welche schon während der Keimungsperiode Nebenwurzeln zweiter Ordnung erzeugt (Fig. 35 *n n*). Ein günstiges Beobachtungsmaterial ist auch die Kartoffel, deren aus Knollentrieben entwickelte Nebenwurzeln erster Ordnung eine sehr grosse Zahl von solchen zweiter Ordnung erzeugen, die noch dazu eine ziemlich beträchtliche Länge erreichen. Die aus den Halmknoten von Phragmites entspringenden Nebenwurzeln erzeugen zwar sehr zahlreiche, aber sehr dünne und ziemlich kurz bleibende Nebenwurzeln der zweiten Ordnung. Unter den von mir beobachteten Pflanzen ist insofern Cucurbita Pepo die günstigste, als ihre Nebenwurzeln der zweiten Ordnung nicht nur frühzeitig schon während der Keimung, wenn die Cotyledonen ungefähr ihre halbe definitive Länge erreicht haben, zum Vorschein kommen, sondern auch in sehr grosser Zahl an jeder einzelnen Mutterwurzel, an welcher sie in vier kreuzweis gestellten Reihen hervortreten.

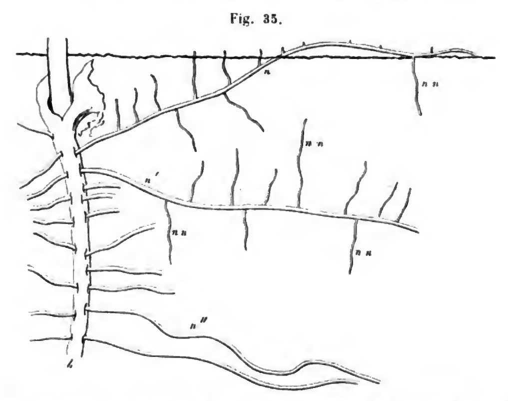
Messungen über die Vertheilung des Längenwachsthums und über die Curve der Partialzuwachse an diesen dünnen Wurzeln zu machen, habe ich der praktischen Schwierigkeiten wegen und bei den voraussichtlich allzu grossen Irrthümern, denen man da ausgesetzt ist, nicht vorgenommen.

Das Wichtigste, was ich von den Nebenwurzeln zweiter Ordnung der genannten Pflanzen mitzutheilen habe, ist die Thatsache, dass es mir niemals gelungen ist, an denselben irgend eine geotropische Krümmung wahrzunehmen; sie wachsen aus ihren Mutterwurzeln meist rechtwinklig hervor und verlängern sich geradeaus, sei es senkrecht aufwärts, abwärts, horizontal oder in irgend einer schiefen Richtung gegen die Verticale; in dieser Beziehung verhalten sie sich in lockerer Erde ganz ebenso, wie wenn das Wurzelsystem von Wasser umgeben ist.

Doch verlaufen die Nebenwurzeln der zweiten Ordnung wahrscheinlich in Folge ihrer sehr geringen Dicke und Steifheit in noch höherem Grade als die der ersten Ordnung in geschlängelten Linien, wenn sie sich im Boden entwickeln, im Wasser dagegen wachsen sie geradeaus. Auch wenn man den Erdkasten, in welchem die Nebenwurzeln von Cucurbita, Phaseolus, Solanum tuberosum sich entwickeln, um 90 oder 180° umdreht, bemerkt man keinerlei Veränderung in ihren Richtungsverhältnissen, aus welcher man auf eine geotropische Wirkung an ihnen schliessen könnte. Es scheint daher, dass die Nebenwurzeln der zweiten Ordnung wirklich nicht oder nur in unmerklichem Grade geotropisch sind; dass daran jedoch nicht die Steifheit ihrer Wurzelhaube und die Kürze ihrer wachsenden Re-

gion schuld ist, wie Hofmeister (Berichte der kgl. sächs. Gesellschaft 1860 p. 202) annimmt, wird, wie ich glaube, hinreichend durch das bei Fig. 27 in §. 41 über die Nebenwurzeln erster Ordnung Gesagte dargethan.

Fig. 35.



Phaseolus multiflorus in feuchter Erde hinter Glaswand; *h* Hauptwurzel, *n* Nebenwurzeln der ersten, *nn* solche der zweiten Ordnung. Die rauhe Horizontallinie bedeutet die Erdoberfläche.

Das Fehlen des Geotropismus dieser Nebenwurzeln zweiter Ordnung hängt wahrscheinlich davon ab, dass der Geotropismus ihrer Mutterwurzeln, nämlich der Nebenwurzeln erster Ordnung, schon schwach ist; diese Annahme stützt sich auf die Beobachtung, dass, wenn die Nebenwurzeln erster Ordnung selbst stark geotropisch sind, ihre Nebenwurzeln zweiter Ordnung noch schwachen Geotropismus zeigen. So fand ich es bei Zea Mais; nimmt man kräftige Pflanzen vor der Blüthe aus der Erde, schneidet sämmtliche Wurzeln ab, mit Schonung der oberen aus den Stammknoten austretenden und setzt diesen Theil in Erde (hinter Glaswand), so wachsen die Knotenwurzeln sehr rasch und unter sehr spitzem Grenzwinkel abwärts; auch die aus ihnen entspringenden Nebenwurzeln zweiter Ordnung sind sämmtlich schief abwärts gerichtet; kehrt man nun den Kasten um, so bemerkt man an den letzteren sehr deutliche geotropische Krümmungen, ähnlich wie sonst an Nebenwurzeln erster Ordnung.

Beachtet man die merkwürdige Abstufung der geotropischen Fähigkeit bei den Wurzeln verschiedenen Grades eines Wurzelsystems, so bemerkt man leicht, dass hier eine sehr zweckmässige oder dem Pflanzenleben nützliche Einrichtung vorliegt: wären die Nebenwurzeln der ersten und zweiten Ordnung mit demselben Geotropismus versehen wie die Hauptwurzel, so würden natürlich sämmtliche Wurzeln, die sich aus einer Hauptwurzel oder

aus einer die Hauptwurzel vertretenden Nebenwurzel entwickeln, dicht nebeneinander wie in ein Bündel zusammengedrängt abwärts wachsen, sich gegenseitig stören und die Nahrungsstoffe des Bodens, besonders aber die Feuchtigkeit desselben, höchst unvollkommen ausnutzen. Ganz anders dagegen gestaltet sich das Bild eines Wurzelsystems in Folge der verschiedenen geotropischen Befähigung der auseinander hervorwachsenden Wurzeln: die Hauptwurzel, mit kräftigem Geotropismus begabt, dringt senkrecht in die Tiefe, die aus ihr hervorkommenden Nebenwurzeln erster Ordnung entspringen in verschiedenen Tiefen des Bodens und können schief abwärtswachsend die verschiedenen übereinander liegenden Schichten desselben ausnutzen; durch sie wird zugleich der horizontale Umfang des ganzen Wurzelsystems bestimmt; auch sie dringen zwar vermöge ihres Geotropismus und in einer durch den Grenzwinkel bestimmten Richtung nach und nach in die Tiefe des Bodens, aber ihre fortwachsenden Spitzen entfernen sich dabei mehr und mehr von der Hauptwurzel und den Nebenwurzeln der anderen Orthostichen; auch entfernen sich die fortwachsenden Spitzen der Nebenwurzeln einer Orthostiche um so mehr von einander, je länger sie werden, weil, wie wir oben gesehen haben, die obersten Nebenwurzeln beinahe oder wirklich horizontal wachsen, während die anderen um so steiler abwärts gerichtet sind, je tiefer unten an der Hauptwurzel sie entstehen. Indem so die Nebenwurzeln erster Ordnung von der Hauptwurzel aus in verschiedenen Tiefen den Boden nach drei, vier, fünf oder mehr Richtungen hin durchstrahlen, bleiben zwischen ihnen noch immer beträchtliche Räume übrig, in welchen Wasser und Nährstoff aufzusammeln ist; diese Räume nun werden von den Nebenwurzeln der zweiten Ordnung durchwachsen und es ist sehr nützlich, dass diese keine Neigung haben abwärts zu wachsen, sondern nach rechts und links, nach oben und unten die Erde durchsetzen, denn auf diese Weise werden die zwischen den Nebenwurzeln erster Ordnung liegenden Räume am besten nach allen Richtungen hin von Wurzeln durchzogen. So wird es dem Wurzelsystem möglich, den von ihm occupirten Bodenraum in merkwürdig vollständiger Weise auszunutzen, was in um so höherem Grade geschieht, als die Ausnutzung von der Hauptwurzel beginnend nach und nach in centrifugaler Richtung fortschreitet, und so immer neue und weiter entferntere Bodenräume der Pflanze tributär gemacht werden.

§. 46. Hervortreten der Wurzeln über die Erdoberfläche. Im zweiten Heft dieser »Arbeiten« p. 221 habe ich auf die Thatsache hingewiesen, dass, wenn man Pflanzen in Blumentöpfen cultivirt, deren Erde beständig feucht gehalten wird, zumal dann, wenn in geschlossenen Räumen die Erdoberfläche vor dem Austrocknen geschützt ist, dass dann zahlreiche Wurzeln aus der Erdoberfläche hervortreten und dabei eigenthümliche Krümmungen auf- und abwärts zeigen. Damals musste ich mich genügen, die Thatsache als solche mitzutheilen; seit ich aber die in der

hier vorliegenden Abhandlung beschriebenen Eigenschaften der Nebenwurzeln kennen gelernt habe, ist es möglich, jene Erscheinungen richtig zu deuten.

Die über die Erdoberfläche hervortretenden Wurzeln sind, wie Fig. 35 zeigt, zum Theil Nebenwurzeln erster, meist aber solche zweiter Ordnung. Von den Nebenwurzeln erster Ordnung sind es die oberhalb der Wurzelbasis aus dem hypocotylen Glied entspringenden, welche vermöge ihrer Hyponastie und bei ihrem sehr geringen Geotropismus schief aufwärts wachsen und so endlich unter sehr spitzem Winkel über die horizontale Erdoberfläche hervortreten. Die zahlreichen Nebenwurzeln zweiter Ordnung aber, welche auf der Oberseite derartiger Wurzeln, sowie solcher Nebenwurzeln erster Ordnung entspringen, welche horizontal oder fast horizontal wachsen, streben, da sie überhaupt nicht geotropisch sind und einfach geradeaus wachsen, aufwärts (senkrecht oder schief) und kommen so endlich aus der Erde heraus an die Luft, wie aus Fig. 35 ebenfalls leicht ersichtlich ist. — Dass diess bei der gewöhnlichen Cultur, wo die Blumentöpfe am Fenster eines Zimmers oder im Freien stehen, nicht bemerkt wird, geschieht offenbar aus dem Grunde, weil in diesen Fällen die obere Erdschicht bald nach dem Begiessen stark austrocknet, und weil die über der Erdoberfläche befindliche Luft zu trocken ist. Beides bewirkt, dass die an die Erdoberfläche kommenden meist sehr dünnen Wurzelspitzen vertrocknen und nicht weiter wachsen; ist dagegen die obere Erdschicht beständig feucht, und die darüber lagernde Luft nicht allzu trocken, so wachsen die betreffenden Wurzelspitzen nicht nur bis an die Erdoberfläche, sondern sie verlängern sich auch noch oberhalb derselben. Dabei verändern sie jedoch bald ihre aufwärts gehende Richtung; in Folge des im II. Heft p. 209 ff. beschriebenen Einflusses feuchter Flächen (hier der Erdoberfläche) auf in Luft wachsende Wurzeln, krümmen sich diese nun schief abwärts, der Erdoberfläche zu, bis sie diese berühren, wobei die fortwachsende Spitze unter meist sehr spitzem Winkel die Erde trifft. In diesem Fall kann nun zweierlei stattfinden: entweder die Wurzel wächst der Erdoberfläche angeschmiegt horizontal weiter oder sie erhebt sich wieder schief aufwärts, um dasselbe Spiel zu wiederholen und auf- und abwärts geschlängelt über die Erde hinzulaufen (Fig. 35). Ersteres mag in Folge des Reizes geschehen, den die Berührung eines festen Körpers auf die wachsenden Wurzeln übt, wie ich in §. 23 gezeigt habe; dieser Ursache ist es auch zuzuschreiben, wenn derartige aus der Erde herauftauchende Wurzeln am Rande des Topfes diesem dicht angeschmiegt empor, dann auf der Aussenseite wieder abwärts wachsen, wie es zumal bei den Aroideen häufig zu sehen ist. Das Auf- und Abschlängeln anderer Wurzeln auf der Erdoberfläche dagegen ist offenbar dieselbe Erscheinung, die ich im §. 11 beschrieben habe: die unter spitzem Winkel auf die Erdoberfläche sich herabneigenden Wurzelspitzen sind in der Luft erschlafft (gewelkt) und indem ihre Unterseite die feuchte Erdoberfläche berührt,

turgescirt sie stärker, die Spitze krümmt sich aufwärts, wie wenn eine erschlaffte Wurzel horizontal auf Wasser gelegt wird; indem sie nun schief aufwärts weiter wächst, krümmt sie sich wieder schief abwärts, in Folge der Fernewirkung der feuchten Erdoberfläche, bis eine neue Berührung mit dieser und in Folge dessen eine neue Aufwärtskrümmung erfolgt.

Welche von diesen, die Richtung der ausgetretenen Wurzeln bestimmenden Ursachen, nämlich Berührungsreiz fester Körper, Fernewirkung feuchter Oberflächen und einseitige stärkere Turgescenz bei Berührung feuchter Oberflächen in jedem einzelnen Falle den Ausschlag giebt, lässt sich eben nur aus dem Erfolg errathen; dass aber die genannten Ursachen die Wachsthumsrichtung von Wurzeln bestimmen, glaube ich zur Genüge nachgewiesen zu haben.

Ist die Abwärtskrümmung der in die Luft hinaufgewachsenen Wurzeln sehr energisch, treffen sie unter einem nahezu rechten oder doch nicht sehr spitzen Winkel auf die Erdoberfläche, so dringen sie in diese ein, weil in diesem Falle eine hinreichende Differenz der Befeuchtung von Ober- und Unterseite bei der Berührung mit der Erde nicht zu Stande kommt (vergl. p. 400).

Es bedarf schliesslich kaum der Erwähnung, dass auch Nebenwurzeln dritter und höherer Ordnung, wo sie sich bilden (z. B. solche dritter Ordnung bei dem Kürbis), aus der Erdoberfläche auftauchen können.

Wenn endlich in sehr feuchter Luft Wurzeln oberhalb der Erde aus dem Stengel hervorbrechen, wie Duchartre bei Hortensia, Veronica Lindleyana beobachtete und auch sonst häufig vorkommt, und wenn diese Wurzeln dann horizontal oder schwach nach unten gewendet in der Luft fortwachsen, so mag daran zum Theil Mangel an Geotropismus, in manchen Fällen Aufhebung desselben durch Hyponastie schuld sein und auf alle Fälle haben wir da als mitwirkenden Factor dieselbe Erscheinung, welche in der vorliegenden Abhandlung mehrfach erwähnt wurde, dass nämlich auch geotropische Wurzeln, wenn sie in Luft (ohne Benetzung) wachsen, ihren Geotropismus theilweise oder ganz verlieren und von dem Mutterorgan geradeaus wachsen.

Ich schliesse diese Mittheilungen mit dem Hinweis, dass ich meine Untersuchungen über die Wurzeln noch nicht für abgeschlossen erachte.

Würzburg, 13. Juli 1874.

Druck von Breitkopf und Härtel in Leipzig.


MAY 15 1901

Druck von Breitkopf und Härtel in Leipzig.

